

## 明 細 書

圧縮応力の強度分布を有する被膜を備えた表面被覆切削工具

技術分野

- [0001] 本発明は、ドリル、エンドミル、ドリル用刃先交換型チップ、エンドミル用刃先交換型チップ、フライス加工用刃先交換型チップ、旋削加工用刃先交換型チップ、メタルソー、歯切工具、リーマ、タップなどの切削工具に関し、特にその表面(最外層)に耐摩耗性等の特性を向上させる被膜を形成した表面被覆切削工具に関する。

背景技術

- [0002] 従来、切削用の工具としては、超硬合金(WC-Co合金もしくはこれにTi(チタン)やTa(タンタル)、Nb(ニオブ)等の炭窒化物を添加した合金)が用いられてきた。しかし、近年の切削の高速化に伴い、超硬合金、サーメット、あるいはアルミナ系や窒化珪素系のセラミックスを基材として、その表面にCVD(Chemical Vapor Deposition)法やPVD(Physical Vapor Deposition)法で元素周期律表のIVa、Va、VIa族金属やAl(アルミニウム)などの炭化物、窒化物、炭窒化物、ホウ窒化物、酸化物からなる被膜を3~20  $\mu$ mの厚さに被覆した硬質合金工具の使用割合が増大している。
- [0003] 特に、PVD法による被覆は、基材強度の劣化を招かずに耐摩耗性を高め得るということから、ドリル、エンドミル、フライスまたは旋削加工用刃先交換型(スローアウェイ)チップなどの強度の要求される切削工具に多用されている。
- [0004] 近年、切削加工能率を一層向上させるため、切削速度がより高速になってきており、そのことに伴い工具には一層の耐摩耗性が要求されるようになってきている。しかし、高い耐摩耗性を要求すると靱性が低下するということから、高い耐摩耗性および高い靱性の双方を両立させることが要求されている。
- [0005] この要求に応える試みとして、このような切削工具の基材表面に形成された被膜において、圧縮応力等の内部応力を連続的または段階的に変化させる手法が提案されている(特開2001-315006号公報(特許文献1))。このような提案により、耐摩耗性および靱性の両立という要求に対してはある程度の効果を挙げつつある。

[0006] しかしながら、上記のような提案にかかる切削工具は、その被膜の圧縮応力が被膜表面側から基材表面側にかけて一律に増加乃至減少する態様のものであるため、靱性を顕著に向上させるには圧縮応力を基材表面側から被膜表面側にかけて増加させる必要があり、耐摩耗性を顕著に向上させるには圧縮応力を被膜表面側から基材表面側にかけて増加させる必要があった。

[0007] すなわち、被膜表面において最大の圧縮応力を有する態様においては上記靱性に優れるものの、基材表面側に向けて連続的または段階的に圧縮応力が一律に減少するため耐摩耗性には劣っていた。逆に、基材表面側において最大の圧縮応力を有する態様においては耐摩耗性に優れるものの、被膜表面側に向けて連続的または段階的に圧縮応力が一律に減少するため靱性には劣っていた。

[0008] 特に被膜表面において最大の圧縮応力を有する態様の切削工具は、その大きな圧縮応力故に被膜形成後(コーティング終了後)または衝撃応力が負荷されたときに被膜が自己破壊し、微小な膜剥離(以下、膜チップングと記す)が生じやすく、切削工具としての外観品質や高精度加工時の切削性能に悪影響を与えていた。

[0009] この種の切削工具において靱性と耐摩耗性の両立は、最も基本的な特性の一つであるためこれら両者をさらに高度に両立させた切削工具の提供が望まれていた。

特許文献1:特開2001-315006号公報

## 発明の開示

### 発明が解決しようとする課題

[0010] 本発明は、上記のような現状に鑑みなされたものであって、その目的とするところは、切削工具の靱性と耐摩耗性とを高度に両立させるとともに膜チップングを抑制した表面被覆切削工具を提供することにある。

### 課題を解決するための手段

[0011] 本発明者は、上記課題を解決するために鋭意研究を重ねたところ、基材上に最外層として形成される被膜の表面部における圧縮応力を高めるとともに、その被膜の内部において圧縮応力の強度分布に極小点を形成すれば、表面の高度な靱性を維持したままその極小点近傍において衝撃等の応力を緩和することができ膜チップングに対する耐性並びに耐摩耗性も同時に向上するのではないかという知見を得た。本

発明は、この知見に基づきさらに研究を重ねることにより完成されたものである。

- [0012] すなわち、本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備える表面被覆切削工具であって、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有することを特徴としている。ここで、該第1の中間点は、このように極小点を有することからこの点において被膜の自己破壊や衝撃等の応力を緩和することにより被膜の底面方向への亀裂の進展を抑制する作用を奏するものであるため、この第1の中間点が被膜の底面に位置する(重なる)ことはなく、上記の通り被膜の表面と被膜の底面との間に位置するものとなる。
- [0013] そして、本発明の表面被覆切削工具は、上記強度分布(特に第1の中間点から被膜の底面までの強度分布)の態様において、以下のように第1態様～第4態様という4態様を主として含むものである。
- [0014] すなわち、本発明の第1態様の強度分布は、上記被膜の表面において最大の圧縮応力を有するとともに、上記第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が一定の値となることを特徴としている。
- [0015] ここで、上記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力とすることができる。また上記第1の中間点は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚みの $0.1\%$ 以上 $50\%$ 以下の距離を有して位置するものとすることができる。
- [0016] また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $20\sim 90\%$ の値を有するものとすることができる。
- [0017] また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $40\sim 80\%$ の値を有するものとすることができる。
- [0018] また上記圧縮応力は、上記被膜の表面において最大の圧縮応力を有するとともに、その最大の圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離の間維持された後、該圧縮応力が上記第1の中間点まで連続的に減少するものとすることができる。

- [0019] 次いで、本発明の第2態様の強度分布は、上記第1の中間点から上記被膜の底面まで該圧縮応力が連続的に増加することを特徴としている。
- [0020] ここで、上記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力とすることができる。また上記第1の中間点は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚みの $0.1\%$ 以上 $50\%$ 以下の距離を有して位置するものとすることができる。
- [0021] また上記圧縮応力は、上記被膜の表面において最大となることができ、また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $20\sim 90\%$ の値を有するものとすることができる。
- [0022] また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $40\sim 80\%$ の値を有するものとすることができる。
- [0023] また上記圧縮応力は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離の間維持された後、上記第1の中間点まで連続的に減少するものとすることができる。
- [0024] 次いで、本発明の第3態様の強度分布は、上記第1の中間点から、該第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで該圧縮応力が連続的に増加し、該第2の中間点において極大点を有することを特徴としている。
- [0025] ここで、上記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力とすることができる。また上記第1の中間点は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚みの $0.1\%$ 以上 $50\%$ 以下の距離を有して位置するものとすることができる。また上記第2の中間点は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚みの $0.2\%$ 以上 $95\%$ 以下の距離を有して位置するものとすることができる。
- [0026] また上記圧縮応力は、上記被膜の表面において最大となることができ、また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $20\sim 90\%$ の値を有するものとすることができる。
- [0027] また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $40\sim 80\%$ の値を有するものとすることができる。
- [0028] また上記圧縮応力は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離の間維持された後、上記第1の中間点まで

連続的に減少するものとすることができる。

[0029] 次いで、本発明の第4態様の強度分布は、上記第1の中間点から、該第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで該圧縮応力が連続的に増加し、該第2の中間点において極大点を有し、さらに該第2の中間点と上記被膜の底面との間に上記同様の極小点を1以上有することを特徴としている。

[0030] また、上記強度分布は、さらに上記第2の中間点と上記被膜の底面との間に上記同様の極大点を1以上有するものとすることができる。また、上記強度分布は、さらに上記第2の中間点と上記被膜の底面との間において上記同様の極小点と極大点とをそれぞれ1以上この順で交互に繰り返して有するものとすることができる。

[0031] また、上記極小点はすべて、実質的に同一の数値となる圧縮応力を有し、かつ上記極大点はすべて、実質的に同一の数値となる圧縮応力を有していても良く、あるいは上記極小点、極大点がすべて異なる圧縮応力値を有していても良い。

[0032] ここで、上記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力とすることができる。また上記第1の中間点は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚みの $0.1\%$ 以上 $40\%$ 以下の距離を有して位置するものとすることができる。また上記第2の中間点は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚みの $0.2\%$ 以上 $80\%$ 以下の距離を有して位置するものとすることができる。

[0033] また上記圧縮応力は、上記被膜の表面において最大となることができ、また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $10\sim 80\%$ の値を有するものとすることができる。

[0034] また上記圧縮応力は、上記第1の中間点において上記被膜の表面の圧縮応力の $20\sim 60\%$ の値を有するものとすることができる。

[0035] また上記圧縮応力は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離の間維持された後、上記第1の中間点まで連続的に減少するものとすることができる。

#### 発明の効果

[0036] 本発明の表面被覆切削工具は、上記のような構成を有することにより、靱性と耐摩耗性とを高度に両立させるとともに膜チップングに対する耐性をも向上させた特性を

有するものである。

[0037] 特に、上記の第1態様の強度分布のように上記被膜の表面において最大の圧縮応力を有することにより切削初期に生じる工具の欠損等を有効に防止し、切削工具としての靱性が向上するとともに、被膜内部の表面に近い部分に圧縮応力の強度分布の極小点を形成させたことによりその部分が被膜の自己破壊や衝撃等の応力を緩和する作用を奏することによって、膜チップングに対する耐性が飛躍的に向上したものとなる。また、上記極小点から被膜の底面にかけて一定の圧縮応力を有することにより、耐摩耗性が飛躍的に向上したものとなる。

[0038] また、上記の第2態様の強度分布のように上記被膜の表面において被膜内部よりも大きな圧縮応力を有することにより切削初期に生じる工具の欠損等を有効に防止し、切削工具としての靱性が向上するとともに、被膜内部の表面に近い部分に圧縮応力の強度分布の極小点を形成させたことによりその部分が被膜の自己破壊や衝撃等の応力を緩和する作用を奏することによって、膜チップングに対する耐性が飛躍的に向上したものとなり、耐摩耗性も同時に向上したものとなる。また、上記極小点から被膜の底面にかけて圧縮応力が増加することにより、靱性が飛躍的に向上したものとなる。

[0039] また、上記の第3態様の強度分布のように上記被膜の表面において被膜内部よりも大きな圧縮応力を有することにより切削初期に生じる工具の欠損等を有効に防止し、切削工具としての靱性が向上するとともに、被膜内部の表面に近い部分に圧縮応力の強度分布の極小点を形成させたことによりその部分が被膜の自己破壊や衝撃等の応力を緩和する作用を奏することによって、膜チップングに対する耐性が飛躍的に向上しかつ耐摩耗性も同時に向上したものとなる。また、上記極小点とともに極大点を設けたことにより、その極大点近傍においてさらに高度な靱性を得ることができるようになった。

[0040] また、上記の第4態様の強度分布のように上記被膜の表面において被膜内部よりも大きな圧縮応力を有することにより切削初期に生じる工具の欠損等を有効に防止し、切削工具としての靱性が向上するとともに、被膜内部の表面に近い部分に圧縮応力の強度分布の極小点を形成させたことによりその部分が被膜の自己破壊や衝撃等の

応力を緩和する作用を奏することによって、膜チップングに対する耐性が飛躍的に向上しかつ耐摩耗性も同時に向上したものとなる。また、上記極小点とともに極大点を設けたことにより、その極大点近傍においてさらに高度な靱性を得ることができるようになった。そしてさらに、このような極小点及び極大点を複数形成することにより、耐摩耗性および靱性がさらに向上するとともに、膜チップングに対する耐性もさらに向上したものとなる。

- [0041] このように本発明は、上記のように特徴のある圧縮応力の強度分布を有することにより靱性と耐摩耗性とを高度に両立させるとともに膜チップングに対する耐性を向上させることに成功したものである。

#### 図面の簡単な説明

- [0042] [図1]本発明の表面被覆切削工具の概略断面図である。
- [図2]本発明の表面被覆切削工具の被膜の部分を拡大した概略断面図である。
- [図3]被膜の圧縮応力の強度分布の第1態様を示すグラフである。
- [図4]被膜の圧縮応力の強度分布の第1態様であって、被膜表面の最大の圧縮応力が一定の距離維持される場合を示すグラフである。
- [図5]中間層を形成した本発明の表面被覆切削工具の概略断面図である。
- [図6]被膜の圧縮応力の強度分布の第2態様を示すグラフである。
- [図7]被膜の圧縮応力の強度分布の第2態様であって、被膜表面の圧縮応力が一定の距離維持される場合を示すグラフである。
- [図8]本発明の表面被覆切削工具の被膜の部分を拡大した別の概略断面図である。
- [図9]被膜の圧縮応力の強度分布の第3態様を示すグラフである。
- [図10]被膜の圧縮応力の強度分布の第3態様であって、被膜表面の圧縮応力が一定の距離維持される場合を示すグラフである。
- [図11]本発明の表面被覆切削工具の被膜の部分を拡大したさらに別の概略断面図である。
- [図12]被膜の圧縮応力の強度分布の第4態様を示すグラフである。
- [図13]被膜の圧縮応力の強度分布の第4態様であって、被膜表面の圧縮応力が一定の距離維持される場合を示すグラフである。

## 符号の説明

- [0043] 1 表面被覆切削工具、2 基材、3 被膜、4 被膜の表面、5 第1の中間点、6 被膜の底面、7 矢印、8 中間層、9 第2の中間点、10 第3の中間点、11 第4の中間点。

## 発明を実施するための最良の形態

- [0044] 以下、本発明についてさらに詳細に説明する。なお、以下の実施の形態の説明では、図面を用いて説明しているが、本願の図面において同一の参照符号を付したものは、同一部分または相当部分を示している。

- [0045] <表面被覆切削工具>

図1に示したように、本発明の表面被覆切削工具1は、基材2と、該基材上に形成された被膜3とを備えた構成を有している。なお、図1では、被膜3が基材2表面に直接接するように形成されているが、被膜3が最外層となる限り被膜3と基材2との間には後述するように任意の中間層が形成されていても差し支えない。本願において基材上に形成された被膜という場合は、このように任意の中間層が形成された場合も含むものとする。

- [0046] このような本発明の表面被覆切削工具は、ドリル、エンドミル、ドリル用刃先交換型チップ、エンドミル用刃先交換型チップ、フライス加工用刃先交換型チップ、旋削加工用刃先交換型チップ、メタルソー、歯切工具、リーマ、タップなどの切削工具として好適に用いることができ、とりわけ重切削用または断続切削用の用途に好適であるとともに、フライス加工用の用途に特に適したものとなっており、これらの用途で靱性および耐摩耗性に優れたものとなる。さらに、膜チップングに対する耐性にも優れることから被削材の仕上げ面粗さが向上し、被削材の仕上げ面光沢にも優れることから粗仕上同時加工が可能である。

- [0047] <基材>

本発明の表面被覆切削工具に用いられる基材は、この種の用途の基材として従来公知のものであればいずれのものも使用することができる。たとえば、超硬合金（たとえばWC基超硬合金、WCの他、Coを含み、あるいはさらにTi、Ta、Nb等の炭窒化物を添加したものも含む）、サーメット（TiC、TiN、TiCN等を主成分とするもの）、高



速度鋼、セラミックス(炭化チタン、炭化硅素、窒化硅素、窒化アルミニウム、酸化アルミニウムなど)、立方晶型窒化硼素焼結体、またはダイヤモンド焼結体のいずれかであることが好ましい。

[0048] これらの各種基材の中でも、特にWC基超硬合金、サーメット、立方晶型窒化硼素焼結体を選択することが好ましい。これは、これらの基材が特に高温硬度と強度とのバランスに優れ、上記用途の表面被覆切削工具の基材として優れた特性を有するためである。

[0049] <被膜>

本発明の被膜は、上記の基材上に形成されるものであつて最外層となるものである。このように形成されている限り、必ずしも上記基材を全面に亘って被覆している必要はなく、上記基材の表面に該被膜が形成されていない部分や後述の圧縮応力の強度分布を満たさない部分が含まれていても差し支えない。なお、被膜を一旦形成した後において、任意の後加工によりその被膜の表面の一部が除去される場合に、それが除去された後に新たに最表面に露出した層についても本発明の圧縮応力の強度分布を満たす被膜となる場合には本発明に含まれる。また、後述のように基材と被膜との間に中間層が形成されている場合において、その被膜が任意の後加工により除去されて中間層が最外層として露出する場合にも、その露出部分の該中間層が本発明の圧縮応力の強度分布を満たす被膜となる場合には本発明に含まれる(この場合、該中間層が複数の層で形成されている場合には、その複数の層のうち最外層(最表面となる層)が本発明の対象の被膜となる)。

[0050] このような被膜は、工具の耐摩耗性、耐酸化性、靱性、使用済み刃先部の識別のための色付性等の諸特性を向上させる作用を付与するために形成されるものであり、その組成は特に限定されるものではなく従来公知のものを採用することができる。たとえば、元素周期律表のIVa族元素(Ti、Zr、Hf等)、Va族元素(V、Nb、Ta等)、V Ia族元素(Cr、Mo、W等)、Al(アルミニウム)、B(ホウ素)、Si(シリコン)およびGe(ゲルマニウム)からなる群から選ばれる少なくとも1種の元素の炭化物、窒化物、酸化物、炭窒化物、炭酸化物、窒酸化物、炭窒酸化物またはこれらの固溶体により構成されるものをその組成として例示することができる。

[0051] 特に、 $(\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x)$ 、 $(\text{Al}_{1-x}\text{V}_x)$ 、 $(\text{Ti}_{1-x}\text{Si}_x)$ 、 $(\text{Al}_{1-x}\text{Cr}_x)$ 、 $(\text{Ti}_{1-x-y}\text{Al}_x\text{Si}_y)$ または $(\text{Al}_{1-x-y}\text{Cr}_x\text{V}_y)$ の窒化物、炭窒化物、窒酸化物または炭窒酸化物(式中x、yは1以下の任意の数)等(これらにさらにB、Cr等を含むものも含む)をその好適な組成として例示することができる。

[0052] より好ましくは、TiCN、TiN、TiSiN、TiSiCN、TiAlN、TiAlCrN、TiAlSiN、TiAlSiCrN、AlCrN、AlCrCN、AlCrVN、TiBN、TiAlBN、TiSiBN、TiBCN、TiAlBCN、TiSiBCN、AlN、AlCN、AlVN、AlVCN等を挙げることができる。なお、これらの組成中、各原子比は上記一般式の例に倣うものとする。

[0053] また、このような被膜は、単層として形成されるものとする。ここで単層とは、その積層数は1層であっても複数層であってもよいが、各層を構成する構成元素の種類が同一である構造をいうものとする。このため、構成元素の種類が同一のものである限り、原子比の異なるものが複数積層されていてもここでいう単層に含まれるものとする。

[0054] 本発明の被膜としては、特に被膜全体を通して構成元素の種類が同一であり、その原子比も同一のもので構成されていることが好ましいが、一層の厚みが0.1  $\mu\text{m}$ 未満で各層を構成する構成元素の種類が同一でない超多層の膜構造の場合についても上記でいう単層に含まれるものとする。

[0055] <被膜の厚み>

本発明の被膜の厚みは、特に限定されるものではないが、0.1  $\mu\text{m}$ 以上10  $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。その厚みが0.1  $\mu\text{m}$ 未満では、被膜の形成による諸特性の向上効果が十分に得られなくなることがあり、10  $\mu\text{m}$ を超えると被膜自体が容易に剥離することがあるからである。

[0056] <被膜の形成方法>

本発明の被膜の形成方法は、特に限定されるものではないが、物理的蒸着法(PVD法)により形成することが好ましい。このように物理的蒸着法を採用することより、強度分布が形成されるように被膜の圧縮応力を容易に変化させることができるからである。

[0057] すなわち、被膜の圧縮応力は、本発明者の研究によると、物理的蒸着法により被膜を形成する時の温度、反応ガス圧、基板バイアス電圧等の影響を受けることが判明し

ており、その中でも特に被膜を形成する時の基板バイアス電圧の影響が最も大きいことが判明している。

[0058] これは、たとえば基材に対して大きな基板バイアス電圧をかけると、被膜を構成する元素がイオン状態で基材に対して高エネルギーで供給され、このためこれら両者が衝突するときの衝撃が大きくなり、その結果として形成される被膜の圧縮応力が大きくなるものと考えられる。また、逆に基板バイアス電圧が小さい場合は、そのような基材とイオン状態の元素との衝突による衝撃も小さく、以って圧縮応力も小さくなるものと推測される。

[0059] したがって、被膜の圧縮応力が、被膜の厚み方向に対して強度分布を有するようにするためには、基材上に被膜を形成する際に、物理的蒸着法を採用し、その基板バイアス電圧を調節することにより、実行することができる。また、後述のように機械的衝撃や熱的衝撃、あるいは熱によるアニール現象を用いて調整することもできる。

[0060] このように本発明の被膜の形成方法としては、物理的蒸着法を採用することが好ましいが、他の形成方法として知られる化学的蒸着法を除外するものではない。

[0061] このような物理的蒸着法としては、基板バイアス電圧の調節が可能なスパッタリング法、イオンプレーティング法等、従来公知の方法を挙げることができる。特に、それらの各種方法の中でもイオンプレーティング法またはマグネトロンスパッタリング法を採用することが好ましい。

[0062] ここで、イオンプレーティング法とは、金属を陰極とし、真空チャンバーを陽極として、金属を蒸発、イオン化させると同時に基材に負の電圧(基板バイアス電圧)をかけることによりイオンを引き出し、基材表面に金属イオンを堆積する方法をいう。なお、この方法において、真空中に窒素を入れ、金属と反応させれば該金属の窒化化合物が形成されることになる。たとえば金属としてチタンを用い、窒素と反応させれば窒化チタン(TiN)が形成される。

[0063] このようなイオンプレーティング法にも種々のものがあるが、特に、原料元素のイオン率が高いカソードアークイオンプレーティング法を採用することが特に好ましい。

[0064] このカソードアークイオンプレーティング法を用いると、被膜を形成する前に基材表面に対して金属のイオンボンバードメント処理が可能となるため、被膜の密着性が飛

躍的に向上するという効果を得ることもできる。このため、密着性という意味からもカソードアークイオンプレーティング法は好ましいプロセスである。

[0065] 一方、マグネトロンスパッタリング法とは、真空チャンバー内を高真空にした後、Arガスを導入してターゲットに高電圧を印加しグロー放電を生じさせ、このグロー放電によりイオン化したArをターゲットに向けて加速照射させターゲットをスパッタすることにより、飛び出してイオン化されたターゲット原子は、ターゲットー基板間の基板バイアス電圧によって加速され基材上に堆積されることによって成膜される方法をいう。このようなマグネトロンスパッタリング法には、バランスドマグネトロンスパッタリング法、アンバランスドマグネトロンスパッタリング法等がある。

[0066] なお、上記では、被膜の圧縮応力の強度分布の形成方法として、物理的蒸着法による基板バイアス電圧を制御する方法を挙げているが、本発明においてはこのような方法のみに限定されるものではない。たとえば、被膜形成後に、ブラスト等機械的衝撃により圧縮応力を加える方法、ヒーター、レーザー等の熱源を用いて圧縮応力を緩和する方法、これらの方法を組み合わせる方法等を挙げることができる。

[0067] <被膜の圧縮応力>

本発明の被膜は、圧縮応力を有している。そして、該圧縮応力は $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力であることが好ましい。より好ましくは、その下限を $-10\text{GPa}$ 、さらに好ましくは $-8\text{GPa}$ である。また、その上限は、より好ましくは $-0.5\text{GPa}$ であり、さらに好ましくは $-1\text{GPa}$ である。

[0068] 被膜の圧縮応力が $-15\text{GPa}$ 未満となると、切削工具の形状(刃先が極めて小さい鋭角であるものや複雑な形状をしたもの等)により、特に刃先稜線部で被膜が剥離する場合がある。また、被膜の圧縮応力が $0\text{GPa}$ を越えると、被膜の応力は引張状態となるので、被膜に亀裂を生じ、これが原因となって工具自体が欠損する場合がある。

[0069] ここで、本発明でいう圧縮応力とは、被膜に存する内部応力(固有ひずみ)の一種であって、「 $-$ 」(マイナス)の数値(単位: $\text{GPa}$ )で表されるものである。このため、圧縮応力(内部応力)が大きいという表現は、上記数値の絶対値が大きくなることを示し、また、圧縮応力(内部応力)が小さいという表現は、上記数値の絶対値が小さくなることを示す。

- [0070] また、このような本発明の圧縮応力は、 $\sin^2 \phi$  法という方法で測定されるものである。X線を用いた $\sin^2 \phi$  法は、多結晶材料の残留応力の測定方法として広く用いられている。この測定方法は、「X線応力測定法」(日本材料学会、1981年株式会社養賢堂発行)の54～66頁に詳細に説明されているが、本発明ではまず並傾法と側傾法とを組み合わせ、X線の侵入深さを固定し、測定する応力方向と測定位置に立てた試料表面法線を含む面内で種々の $\phi$  方向に対する回折角度 $2\theta$ を測定して $2\theta - \sin^2 \phi$  線図を作成し、その勾配からその深さ(被膜の表面からの距離)までの平均圧縮応力を求めることができる。そして、同様にして異なる深さまでの平均圧縮応力を順次測定し、数学的手法を行なうことにより、被膜の厚み方向の圧縮応力の強度分布を求めることができる。
- [0071] より具体的には、X線源からのX線を試料に所定角度で入射させ、試料で回折したX線をX線検出器で検出し、該検出値に基づいて内部応力を測定するX線応力測定方法において、試料の任意箇所の試料表面に対して任意の設定角度でX線源よりX線を入射させ、試料上のX線照射点を通り試料表面で入射X線と直角な $\omega$  軸と、試料台と平行で $\omega$  軸を回転させた時に入射X線と一致する $\chi$  軸を中心に試料を回転させるときに、試料表面と入射X線とのなす角が一定となるように試料を回転させながら、回折面の法線と試料面の法線とのなす角度 $\phi$ を変化させて回折線を測定することによって、試料内部の圧縮応力を求めることができる。
- [0072] なお、このような被膜の厚み方向の強度分布を求めるX線源としては、X線源の質(高輝度、高平行性、波長可変性等)の点で、シンクロトロン放射光(SR)を用いることが好ましい。
- [0073] なおまた、上記のように圧縮応力を $2\theta - \sin^2 \phi$  線図から求めるためには、被膜のヤング率とポアソン比が必要となる。しかし、該ヤング率はダイナミック硬度計等を用いて測定することができ、ポアソン比は材料によって大きく変化しないため0.2前後の値を用いればよい。本発明では、特に正確な圧縮応力値が特に重要となるわけではなく、圧縮応力の強度分布が重要である。このため、 $2\theta - \sin^2 \phi$  線図から圧縮応力を求めるに際して、ヤング率を用いることなく格子定数および格子面間隔を求めることにより圧縮応力の強度分布の代用とすることもできる。

[0074] <強度分布>

本発明の被膜の上記圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化している。ここで被膜の厚み方向とは、被膜の表面から被膜の底面（該被膜は基材上の最外層となるためその最外層の最も基材側の面）に向かう方向であって、被膜の表面に対して垂直となる方向である。図1の被膜3の部分の拡大断面図である図2を用いてより具体的に説明すれば、被膜の厚み方向とは、被膜の表面4から被膜の底面6に向かう矢印7で示される方向である。なお、矢印7は、便宜上、被膜の表面4から被膜の底面6に向かう方向で示されているが、被膜の表面に対して垂直となる方向である限りこの上下方向を限定する必要はなく、被膜の底面6から被膜の表面4に向かうものであってもよい。

[0075] また、上記強度分布とは、圧縮応力の大きさが上記被膜の厚み方向に向かって分布を形成して変化することを示すものである。したがって、該圧縮応力が被膜の厚み方向に強度分布を有するとは、換言すれば圧縮応力の大きさが被膜の表面と平行の方向ではなく、被膜の表面と垂直の方向に変化することを意味するものである。

[0076] そして上記強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有することを特徴としている。以下、この強度分布について、第1態様から第4態様に分けて詳述する。

[0077] <強度分布－第1態様>

上記強度分布の第1態様は、上記被膜の表面において最大の圧縮応力（換言すれば絶対値が最大となる圧縮応力）を有するとともに、上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで圧縮応力が連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有するとともに、その第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が一定の値となることを特徴としている。

[0078] この特徴を、図2および本発明の強度分布の第1態様を示す図3を用いてより詳しく説明する。図3は、被膜の厚み方向として、被膜の表面からの距離を横軸とし、圧縮応力を縦軸として強度分布をグラフ化したものである。

[0079] まず、図2に示したように、上記の第1の中間点5とは、上記被膜の表面4と上記被

膜の底面6との間に位置するものであるが、上記被膜の表面4からの垂直方向の距離で示せば、必ずしも被膜の厚み(被膜の表面4から被膜の底面6までの垂直方向の距離)の $1/2$ になる必要はない。通常、このような第1の中間点5は、被膜の底面6よりは被膜の表面4に近いところに位置するものである。

[0080] 好ましくはこのような第1の中間点5は、上記被膜の表面4から、上記被膜の厚み(上記被膜の表面4から上記被膜の底面6までの垂直方向の距離)の0.1%以上50%以下の距離を有して位置することが好ましく、より好ましくはその下限を0.3%、さらに好ましくは0.5%、その上限を40%、さらに好ましくは35%とすることが好適である。0.1%未満の場合には、衝撃力の高い断続切削等の過酷な重切削に用いた場合、圧縮応力の付与が不完全となり欠損の抑制効果が見られなくなる場合がある。また、50%を超えると、被膜内部において圧縮応力を低減した効果が低下し、膜チップングに対する耐性の向上作用が示されなくなる場合がある。

[0081] なお、このような第1の中間点において、上記圧縮応力は上記被膜の表面における圧縮応力の20~90%の値を有していることが好ましい。より好ましくは、その上限が85%、さらに好ましくは80%、その下限が30%、さらに好ましくは40%である。

[0082] この値が20%未満となる場合、十分な靱性が得られなくなることがあり、また90%を超えると衝撃吸収(応力の緩和)が不完全となり膜チップングの抑制効果が見られなくなる場合がある。

[0083] 一方、上記の極小点とは、位置的には上記の第1の中間点5(図3においては被膜の表面からの距離が約 $0.1\mu\text{m}$ となる地点)において観察されるものであり、被膜の表面において最大となる圧縮応力(図3においては約 $-5\text{GPa}$ の値を有する圧縮応力)が、被膜の底面6に向かって連続的に減少していき、この極小点においてその減少の度合いが変化することを示すものである。ここで、減少の度合いが変化するとは、図3に示したようにこの極小点を境として圧縮応力が被膜の底面の方向に向かって一定の値となることを示している。したがって、この極小点とは、数学の関数用語である極小点と同意またはそれより広義の意味を有するものである。

[0084] このような極小点は、上記の強度分布において1点のみ存在するものであり、上記特許文献1における段階的変化(階段状の変化)とは根本的に異なるものである。

- [0085] なお、図3においては、被膜の表面（すなわち被膜の表面からの距離が0  $\mu$  mの地点）においてのみ圧縮応力が最大となっているが、本発明の態様としては、このように被膜の表面からの距離が0  $\mu$  mの地点のみにおいて最大の圧縮応力を有する場合のみに限らず、図4に示したように被膜の表面からこの最大の圧縮応力が被膜の底面方向に向かって一定の距離（好ましくは0.5  $\mu$  m以下）の範囲内で維持される場合も含むものとする。すなわち、上記圧縮応力は、上記被膜の表面において最大の圧縮応力を有するとともに、その最大の圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離（好ましくは0.5  $\mu$  m以下）の間維持された後、該圧縮応力が上記第1の中間点まで連続的に減少する態様が含まれる。
- [0086] このように被膜表面の最大の圧縮応力が、その被膜の表面から被膜の底面方向に向かって一定の距離の範囲内で維持されると、特に優れた靱性を有することとなるため好ましい。
- [0087] また、上記被膜の表面から上記第1の中間点まで圧縮応力が連続的に減少するとは、図3に示したように下に凸の状態で減少する場合だけではなく、上に凸の状態で減少する場合や直線的に減少する場合も含まれる。さらに、一部分において増加したり、減少の度合い（傾き）が途中で変化しているような場合あるいは段階的（階段状に減少）となっている場合であっても、全体として上記被膜の表面から上記第1の中間点に向けて減少していれば、ここでいう連続的に減少する場合に含まれるものとする。
- [0088] また、上記第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が一定の値となるとは、圧縮応力が完全に一定の数値を有する場合だけではなく、実質的に一定とみなされる場合も含まれる。
- [0089] このように本発明の強度分布の第1態様においては、その強度分布が上記被膜の表面において最大の圧縮応力を有するとともに、上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有したものとなっている。このように被膜の表面において最大の圧縮応力を有することにより、被膜表面で発生するクラックの発生を可能な限り抑制し、かつその極小点近傍において被膜表面部の大きな圧縮応力による被膜



の自己破壊を防止し、被膜表面に負荷される衝撃等の応力を緩和することで、靱性と膜チッピングに対する耐性に優れるという卓越した効果が示される。

[0090] さらに本発明の強度分布の第1態様においては、上記第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が一定の値となることにより、被膜の自己破壊を抑制でき極めて優れた耐摩耗性が提供される。このようにして、本発明の表面被覆切削工具は、靱性と耐摩耗性および膜チッピングに対する耐性とを両立させることに成功したという極めて優れた効果を示すものである。

[0091] このような優れた効果は、上記のような極小点を有さず、被膜の表面から被膜の底面に向かって圧縮応力が連続的または段階的に一律に減少乃至増加することを特徴とする従来の表面被覆切削工具(特許文献1)においては示すことができない格別の効果である。

[0092] <強度分布－第2態様>

上記強度分布の第2態様は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有するとともに、その第1の中間点から上記被膜の底面まで該圧縮応力が連続的に増加することを特徴としている。

[0093] この特徴を、図2および本発明の強度分布の第2態様を示す図6を用いてより詳しく説明する。図6は、被膜の厚み方向として、被膜の表面からの距離を横軸とし、圧縮応力を縦軸として強度分布をグラフ化したものである。

[0094] まず、図2に示したように、上記の第1の中間点5とは、上記被膜の表面4と上記被膜の底面6との間に位置するものであるが、上記被膜の表面4からの垂直方向の距離で示せば、必ずしも被膜の厚み(被膜の表面4から被膜の底面6までの垂直方向の距離)の1/2になる必要はない。通常、このような第1の中間点5は、被膜の底面6よりは被膜の表面4に近いところに位置するものである。

[0095] 好ましくはこのような第1の中間点5は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚み(上記被膜の表面4から上記被膜の底面6までの垂直方向の距離)の0.1%以上50%以下の距離を有して位置することが好ましく、より好ましくはその下限を0.3%、さらに好ましくは0.5%、その上限を40%、さらに好ましくは35%とすることが好適である。

。0.1%未満の場合には、衝撃力の高い断続切削等の過酷な重切削に用いた場合、圧縮応力の付与が不完全となり欠損の抑制効果が見られなくなる場合がある。また、50%を超えると、被膜内部において圧縮応力を低減した効果が低下し、膜チッピングに対する耐性の向上作用が示されなくなる場合がある。

[0096] このような強度分布において、上記圧縮応力は上記被膜の表面4において最大となる(換言すればその絶対値が最大となる)ものとすることができる。これにより、特に優れた靱性を得ることができる。一方、上記圧縮応力は上記被膜の底面6において最大となる(換言すればその絶対値が最大となる)ものとすることもできる。これによっても、優れた靱性を得ることができる。

[0097] なお、上記のような第1の中間点において、上記圧縮応力は上記被膜の表面における圧縮応力の20~90%の値を有していることが好ましい。より好ましくは、その上限が85%、さらに好ましくは80%、その下限が30%、さらに好ましくは40%である。

[0098] この値が20%未満となる場合、十分な靱性が得られなくなることがあり、また90%を超えると衝撃吸収(応力の緩和)が不完全となり膜チッピングの抑制効果が見られなくなる場合がある。

[0099] 一方、上記の極小点とは、位置的には上記の第1の中間点(図6においては被膜の表面からの距離が約0.1  $\mu$ mとなる地点)において観察されるものであり、被膜の表面の圧縮応力(図6においては約-5GPaの値を有する圧縮応力)が、被膜の底面6に向かって連続的に減少していき、この極小点においてその減少の割合が変化することを示すものである。ここで、減少の割合が変化するとは、図6に示したようにこの極小点を境として圧縮応力が被膜の底面の方向に向かって連続的に増加することを示している。

[0100] なお、図6においては、上記の極小点は、上記の第1の中間点の一点のみに存在する態様となっているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、被膜の厚み方向に極小点がある厚みをもって存在する場合も含むものとする。ここで、極小点がある厚みをもって存在するとは、極小点の圧縮応力が上記第1の中間点からその厚み(好ましくは被膜の厚みの1/2以下)の間、実質的に一定の値を有することをいう。このように、上記の極小点が上記第1の中間点からある厚みをもって

存在することにより、耐摩耗性をさらに向上させることができる。

- [0101] したがって、本願でいう極小点とは、数学の関数用語である極小点と同意またはそれより広義の意味を有するものである。
- [0102] なお、図6においては、被膜の表面(すなわち被膜の表面からの距離が $0\ \mu\text{m}$ の地点)から圧縮応力が連続的に減少する態様となっているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、たとえば図7に示したように被膜の表面の圧縮応力が被膜の底面方向に向かって一定の距離(好ましくは $0.5\ \mu\text{m}$ 以下)の範囲内で維持される場合も含むものとする。すなわち、上記圧縮応力は、上記被膜の表面において内部よりも大きな圧縮応力(換言すれば絶対値がその内部の絶対値よりも大きくなる圧縮応力)を有するとともに、その圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離(好ましくは $0.5\ \mu\text{m}$ 以下)の間維持された後、該圧縮応力が上記第1の中間点まで連続的に減少する態様が含まれる。
- [0103] このように被膜表面の圧縮応力が、その被膜の表面から被膜の底面方向に向かって一定の距離の範囲内で維持されると、特に優れた靱性を有することとなるため好ましい。
- [0104] また、上記被膜の表面から上記第1の中間点まで圧縮応力が連続的に減少するとは、図6に示したように下に凸の状態で減少する場合だけではなく、上に凸の状態で減少する場合や直線的に減少する場合も含まれる。さらに、一部分において増加したり、減少の度合い(傾き)が途中で変化しているような場合あるいは段階的(階段状に減少)となっている場合であっても、全体として上記被膜の表面から上記第1の中間点に向けて減少していれば、ここでいう連続的に減少する場合に含まれるものとする。
- [0105] また、上記第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が連続的に増加するとは、図6に示したように下に凸の状態で増加する場合だけではなく、上に凸の状態で増加する場合や直線的に増加する場合も含まれる。さらに、一部分において減少したり、増加の度合い(傾き)が途中で変化しているような場合あるいは段階的(階段状に増加)となっている場合であっても、全体として上記第1の中間点から上記被膜の底面に向けて増加していれば、ここでいう連続的に増加する場合に含まれるものとする。

る。

[0106] このように本発明の強度分布の第2態様においては、その強度分布が上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有したものとなっている。このように被膜の表面において内部よりも大きな圧縮応力を有することにより、被膜表面で発生するクラックの発生を可能な限り抑制し、かつその極小点近傍において被膜表面部の大きな圧縮応力による被膜の自己破壊を防止し、被膜表面に負荷される衝撃等の応力を緩和することで、靱性と膜チッピングに対する耐性並びに耐摩耗性に優れるという卓越した効果が示される。

[0107] さらに本発明の強度分布の第2態様においては、上記第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が連続的に増加することにより、被膜の自己破壊を抑制でき極めて優れた靱性が提供される。このようにして、本発明の表面被覆切削工具は、靱性と耐摩耗性および膜チッピングに対する耐性とを両立させることに成功したという極めて優れた効果を示すものである。

[0108] このような優れた効果は、上記のような極小点を有さず、被膜の表面から被膜の底面に向かって圧縮応力が連続的または段階的に一律に減少乃至増加することを特徴とする従来の表面被覆切削工具(特許文献1)においては示すことができない格別の効果である。

[0109] <強度分布—第3態様>

上記強度分布の第3態様は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有するとともに、その第1の中間点から、その第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで連続的に増加し、その第2の中間点において極大点を有することを特徴としている。

[0110] この特徴を、図8および本発明の強度分布の第3態様を示す図9を用いてより詳しく説明する。図9は、被膜の厚み方向として、被膜の表面からの距離を横軸とし、圧縮応力を縦軸として強度分布をグラフ化したものである。

[0111] まず、図8に示したように、上記の第1の中間点5とは、上記被膜の表面4と上記被

膜の底面6との間に位置するものであるが、上記被膜の表面4からの垂直方向の距離で示せば、必ずしも被膜の厚み(被膜の表面4から被膜の底面6までの垂直方向の距離)の1/2になる必要はない。通常、このような第1の中間点5は、被膜の底面6よりは被膜の表面4に近いところに位置するものである。

[0112] 好ましくはこのような第1の中間点5は、上記被膜の表面4から、上記被膜の厚み(上記被膜の表面4から上記被膜の底面6までの垂直方向の距離)の0.1%以上50%以下の距離を有して位置することが好ましく、より好ましくはその下限を0.3%、さらに好ましくは0.5%、その上限を40%、さらに好ましくは35%とすることが好適である。0.1%未満の場合には、衝撃力の高い断続切削等の過酷な重切削に用いた場合、圧縮応力の付与が不完全となり欠損の抑制効果が見られなくなる場合がある。また、50%を超えると、被膜内部において圧縮応力を低減した効果が低下し、膜チッピングに対する耐性の向上作用が示されなくなる場合がある。

[0113] このような強度分布において、上記圧縮応力は上記被膜の表面4において最大となる(換言すればその絶対値が最大となる)ものとすることができる。これにより、特に優れた靱性を得ることができる。

[0114] なお、上記のような第1の中間点において、上記圧縮応力は上記被膜の表面における圧縮応力の20~90%の値を有していることが好ましい。より好ましくは、その上限が85%、さらに好ましくは80%、その下限が30%、さらに好ましくは40%である。

[0115] この値が20%未満となる場合、十分な靱性が得られなくなることがあり、また90%を超えると衝撃吸収(応力の緩和)が不完全となり膜チッピングの抑制効果が見られなくなる場合がある。

[0116] 一方、上記の極小点とは、位置的には上記の第1の中間点(図9においては被膜の表面からの距離が約0.1  $\mu$ mとなる地点)において観察されるものであり、被膜の表面の圧縮応力(図9においては約-5GPaの値を有する圧縮応力)が、被膜の底面6に向かって連続的に減少していき、この極小点においてその減少の割合が変化することを示すものである。ここで、減少の割合が変化するとは、図9に示したようにこの極小点を境として圧縮応力が第2の中間点の方向に向かって連続的に増加することを示している。

- [0117] なお、図9においては、上記の極小点は、上記の第1の中間点の一点のみにおいて存在する態様となっているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、被膜の厚み方向に極小点がある厚みをもって存在する場合も含むものとする。ここで、極小点がある厚みをもって存在するとは、極小点の圧縮応力が上記第1の中間点からその厚み(好ましくは被膜の厚みの1/2以下)の間、実質的に一定の値を有することをいう。このように、上記の極小点が上記第1の中間点からある厚みをもって存在することにより、耐摩耗性をさらに向上させることができる。
- [0118] したがって、本願でいう極小点とは、数学の関数用語である極小点と同意またはそれより広義の意味を有するものである。
- [0119] 一方、図8に示したように、上記の第2の中間点9とは、上記第1の中間点5と上記被膜の底面6との間に位置するものであるが、必ずしも上記第1の中間点5から被膜の底面6までの垂直方向の距離の1/2になる必要はない。
- [0120] 好ましくはこのような第2の中間点9は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚み(上記被膜の表面4から上記被膜の底面6までの垂直方向の距離)の0.2%以上95%以下の距離を有して位置することが好ましく、より好ましくはその下限を0.5%、さらに好ましくは1%、その上限を90%、さらに好ましくは80%とすることが好適である。0.2%未満の場合には、圧縮応力の低減が不十分となり、膜チップングに対する耐性と耐摩耗性の向上作用が示されなくなる場合がある。また、95%を超えると、被膜内部において大きな圧縮応力を付与した効果が低下し、靱性の向上作用が示されなくなる場合がある。
- [0121] なお、上記のような第2の中間点において、上記圧縮応力は上記被膜の表面における圧縮応力の50~200%の値を有していることが好ましい。より好ましくは、その上限が180%、さらに好ましくは150%、その下限が60%、さらに好ましくは70%である。
- [0122] この値が50%未満となる場合、圧縮応力の付与が不十分となり、十分な靱性が得られなくなることがあり、また200%を超えると圧縮応力の付与が大きくなり過ぎ、膜チップングに対する耐性が低下する場合がある。
- [0123] さらに上記の極大点とは、位置的には上記の第2の中間点(図9においては被膜の

表面からの距離が約 $0.4\mu\text{m}$ となる地点)において観察されるものであり、第1の中間点5の圧縮応力(図9においては約 $-1.8\text{GPa}$ の値を有する圧縮応力)が被膜の底面6に向かって連続的に増加していき、この極大点においてその増加の度合いが変化することを示すものである。ここで、増加の度合いが変化するとは、図9に示したようにこの極大点を境として圧縮応力が被膜の底面6の方向に向かって連続的に減少することを示している。

[0124] なお、図9においては、上記の極大点は、上記の第2の中間点の一点のみに存在する態様となっているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、被膜の厚み方向に極大点がある厚みをもって存在する場合も含むものとする。ここで、極大点がある厚みをもって存在するとは、極大点の圧縮応力が上記第2の中間点からその厚み(好ましくは被膜の厚みの $1/2$ 以下)の間、実質的に一定の値を有することをいう。このように、上記の極大点が上記第2の中間点からある厚みをもって存在することにより、靱性をさらに向上させることができる。

[0125] したがって、本願でいう極大点とは、数学の関数用語である極大点と同意またはそれより広義の意味を有するものである。

[0126] なお、図9においては、上記の第2の中間点から被膜の底面の方向に向かって圧縮応力が連続的に減少する態様を示されているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、上記第2の中間点から被膜の底面まで圧縮応力が一定の値(実質的に一定の値)となる場合も含まれる。上記第2の中間点から被膜の底面まで圧縮応力が連続的に減少する場合には耐摩耗性が優れたものとなるのに対して、このように第2の中間点から被膜の底面まで圧縮応力が一定の値となる場合には靱性がさらに向上するという効果が示される。

[0127] また、図9においては、被膜の表面(すなわち被膜の表面からの距離が $0\mu\text{m}$ の地点)から圧縮応力が連続的に減少する態様となっているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、たとえば図10に示したように被膜の表面の圧縮応力が被膜の底面方向に向かって一定の距離(好ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以下)の範囲内で維持される場合も含むものとする。すなわち、上記圧縮応力は、上記被膜の表面において内部よりも大きな圧縮応力(換言すれば絶対値がその内部の絶対値よりも大きくなる

圧縮応力)を有するとともに、その圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離(好ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以下)の間維持された後、該圧縮応力が上記第1の中間点まで連続的に減少する態様が含まれる。

- [0128] このように被膜表面の圧縮応力が、その被膜の表面から被膜の底面方向に向かって一定の距離の範囲内で維持されると、特に優れた靱性を有することとなるため好ましい。
- [0129] なお、本願において圧縮応力が連続的に減少するとは、図9に示したように下に凸の状態で減少したり上に凸の状態で減少する場合だけではなく、直線的に減少する場合も含まれる。さらに、一部分において増加したり、減少の度合い(傾き)が途中で変化しているような場合あるいは段階的(階段状に減少)となっている場合であっても、全体として減少していれば、本願でいう連続的に減少する場合に含まれるものとする。
- [0130] また、本願において圧縮応力が連続的に増加するとは、図9に示したように下に凸の状態で増加する場合だけではなく、上に凸の状態で増加する場合や直線的に増加する場合も含まれる。さらに、一部分において減少したり、増加の度合い(傾き)が途中で変化しているような場合あるいは段階的(階段状に増加)となっている場合であっても、全体として増加していれば、本願でいう連続的に増加する場合に含まれるものとする。
- [0131] このように本発明の強度分布の第3態様においては、その強度分布が上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有したものとなっている。このように被膜の表面において内部よりも大きな圧縮応力を有することにより、被膜表面で発生するクラックの発生を可能な限り抑制し、かつその極小点近傍において被膜表面部の大きな圧縮応力による被膜の自己破壊を防止し、被膜表面に負荷される衝撃等の応力を緩和することで、靱性と膜チッピングに対する耐性に優れるとともに耐摩耗性にも優れるという卓越した効果が示される。
- [0132] さらに本発明の強度分布の第3態様においては、上記第1の中間点から上記第2の中間点まで圧縮応力が連続的に増加し、その第2の中間点において極大点を有す



ることにより、さらに高度な靱性が提供される。このようにして、本発明の表面被覆切削工具は、靱性と耐摩耗性および膜チップングに対する耐性とを両立させることに成功したという極めて優れた効果を示すものである。

[0133] このような優れた効果は、上記のような極小点および極大点を有さず、被膜の表面から被膜の底面に向かって圧縮応力が連続的または段階的に一律に減少乃至増加することを特徴とする従来表面被覆切削工具(特許文献1)においては示すことができない格別の効果である。

[0134] <強度分布－第4態様>

上記強度分布の第4態様は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有するとともに、その第1の中間点から、その第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで連続的に増加し、その第2の中間点において極大点を有し、さらにその第2の中間点と上記被膜の底面との間に上記同様の極小点を1以上有することを特徴としている。

[0135] ここで、同様の極小点とは、上記第1の中間点における極小点と同様の強度分布上の挙動を示す点であり、たとえば上記第2の中間点から上記被膜の底面に向かって圧縮応力が連続的に減少し、この点においてその圧縮応力の減少の度合いが変化することとなるような点を意味している。このように、上記第2の中間点と上記被膜の底面との間に極小点を1以上有することにより、被膜表面で発生した亀裂の被膜内部への進展をより効果的に抑制することができ、膜チップングに対する耐性がさらに向上するとともに優れた耐摩耗性が示されることになる。

[0136] 一方、上記強度分布は、さらに上記第2の中間点と上記被膜の底面との間に上記同様の極大点を1以上有するものとすることができる。

[0137] ここで、同様の極大点とは、上記第2の中間点における極大点と同様の強度分布上の挙動を示す点であり、たとえば上記第2の中間点と上記被膜の底面との間に位置する極小点からさらに上記被膜の底面に向かって圧縮応力が連続的に増加し、この点においてその圧縮応力の増加の度合いが変化することとなるような点を意味している。このように、上記第2の中間点と上記被膜の底面との間に極大点を1以上有する

ことにより、一層優れた靱性が示されるとともに膜チップングに対する耐性もさらに向上することになる。

- [0138] そして上記強度分布は、さらに上記第2の中間点と上記被膜の底面との間において上記同様の極小点と極大点とをそれぞれ1以上この順で交互に繰り返して有するものとすることができる。この場合、その繰り返し回数および繰り返し間隔は特に限定されるものではないが、各極小点(第1の中間点における極小点を含む)および各極大点(第2の中間点における極大点を含む)が実質的に等間隔で存在する場合には、上記被膜の厚みとの関係において、各極小点間の距離および各極大点間の距離が上記被膜の厚みの0.1%~70%の範囲、好ましくはその上限が60%、さらに好ましくは50%、その下限が0.15%、さらに好ましくは0.2%の範囲となるように、その繰り返し回数を決定することができる。
- [0139] 上記距離が、0.1%未満となる場合には、繰り返し間隔が短くなりすぎ、被膜の応力状態が不安定となって却って膜チップングを起こしやすくなることもあり、また70%を超えると極小点または極大点を複数個形成した効果が小さくなることがある。
- [0140] このように極小点と極大点とが複数存在するようにこの順で交互に繰り返して存在することにより、被膜表面で発生した亀裂の亀裂進展エネルギーが吸収される場が増加するため、亀裂の被膜内部への進展をより一層効果的に抑制することができ、膜チップングに対する耐性がさらに向上するとともにさらに優れた耐摩耗性および靱性が示されることになる。
- [0141] 上記で述べた種々の強度分布の特徴を、図11および本発明の強度分布の第4態様を示す図12を用いてより詳しく説明する。図12は、被膜の厚み方向として、被膜の表面からの距離を横軸とし、圧縮応力を縦軸として強度分布をグラフ化したものである。
- [0142] まず、図11に示したように、上記の第1の中間点5とは、上記被膜の表面4と上記被膜の底面6との間に位置するものであるが、上記被膜の表面4からの垂直方向の距離で示せば、必ずしも被膜の厚み(被膜の表面4から被膜の底面6までの垂直方向の距離)の1/2になる必要はない。通常、このような第1の中間点5は、被膜の底面6よりは被膜の表面4に近いところに位置するものである。

- [0143] 好ましくはこのような第1の中間点5は、上記被膜の表面4から、上記被膜の厚み（上記被膜の表面4から上記被膜の底面6までの垂直方向の距離）の0.1%以上40%以下の距離を有して位置することが好ましく、より好ましくはその下限を0.3%、さらに好ましくは0.5%、その上限を35%、さらに好ましくは30%とすることが好適である。0.1%未満の場合には、衝撃力の高い断続切削等の過酷な重切削に用いた場合、圧縮応力の付与が不完全となり欠損の抑制効果が見られなくなる場合がある。また、40%を超えると、被膜内部において圧縮応力を低減した効果が低下し、膜チップングに対する耐性の向上作用が示されなくなる場合がある。
- [0144] このような強度分布において、上記圧縮応力は上記被膜の表面4において最大となる（換言すればその絶対値が最大となる）ものとすることができる。これにより、特に優れた靱性を得ることができる。
- [0145] なお、上記のような第1の中間点において、上記圧縮応力は上記被膜の表面における圧縮応力の10～80%の値を有していることが好ましい。より好ましくは、その上限が70%、さらに好ましくは60%、その下限が15%、さらに好ましくは20%である。被膜の表面4側から見て2つ目以降の極小点においても、上記範囲の圧縮応力を有することが好ましい。
- [0146] この値が10%未満となる場合、十分な靱性が得られなくなることがあり、また80%を超えると衝撃吸収（応力の緩和）が不完全となり膜チップングの抑制効果が見られなくなる場合がある。
- [0147] 一方、上記の極小点は、被膜の表面4から被膜の底面6に向かって複数存在し、位置的には被膜の表面4側から見てその一つ目の極小点が上記の第1の中間点に現れた後、第2の中間点9と被膜の底面6との間における任意の1以上の点（たとえば図11における第3の中間点10）において観察されるものである。このような極小点は、圧縮応力が被膜の底面6に向かって連続的に減少していきこの点においてその減少の割合が変化するという強度分布上の挙動を示す点である。ここで、減少の割合が変化するとは、被膜の底面6に向かって減少傾向にあった圧縮応力がこの極小点を境として連続的に増加することを示している。
- [0148] なお、図11においては、2つ目以降の極小点が現れる点として第3の中間点10が

1点記載されているだけであるが、これは便宜的なものであってこのように1点のみに限られるものではない。

[0149] また、図12においては、上記の極小点は、被膜の厚み方向に幅を持たない点で存在する態様となっているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、被膜の厚み方向に厚み(幅)をもって存在する場合も含むものとする。ここで、極小点がある厚みをもって存在するとは、極小点の圧縮応力がその厚み(好ましくは被膜の厚みの $1/2$ 以下)において、実質的に一定の値を有することをいう。このように、極小点がある厚みをもって存在することにより、耐摩耗性をさらに向上させることができる。

[0150] したがって、本願でいう極小点とは、数学の関数用語である極小点と同意またはそれより広義の意味を有するものである。

[0151] 一方、図11に示したように、上記の第2の中間点9とは、上記第1の中間点5と上記被膜の底面6との間に位置するものであるが、必ずしも上記第1の中間点5から被膜の底面6までの垂直方向の距離の $1/2$ になる必要はない。

[0152] 好ましくはこのような第2の中間点9は、上記被膜の表面から、上記被膜の厚み(上記被膜の表面4から上記被膜の底面6までの垂直方向の距離)の0.2%以上80%以下の距離を有して位置することが好ましく、より好ましくはその下限を0.5%、さらに好ましくは1%、その上限を75%、さらに好ましくは70%とすることが好適である。0.2%未満の場合には、圧縮応力の低減が不十分となり、膜チップングに対する耐性と耐摩耗性の向上作用が示されなくなる場合がある。また、80%を超えると、被膜内部において大きな圧縮応力を付与した効果が低下し、靱性の向上作用が示されなくなる場合がある。

[0153] なお、上記のような第2の中間点において、上記圧縮応力は上記被膜の表面における圧縮応力の50~200%の値を有していることが好ましい。より好ましくは、その上限が180%、さらに好ましくは150%、その下限が60%、さらに好ましくは70%である。極大点が2つ以上ある場合においても、各極大点は上記範囲の圧縮応力を有することが好ましい。

[0154] この値が50%未満となる場合、圧縮応力の付与が不十分となり、十分な靱性が得られなくなることがあり、また200%を超えると圧縮応力の付与が大きくなり過ぎ、膜チ

ッピングに対する耐性が低下する場合がある。

- [0155] さらに上記の極大点は、被膜の表面4から被膜の底面6に向かって1以上存在し、位置的には被膜の表面4側から見てその1つ目の極大点が上記の第2の中間点9に現れた後、2つ目以降の極大点がある場合には第2の中間点9と被膜の底面6との間における任意の1以上の点(たとえば図11における第4の中間点11)において観察されるものである。このような極大点は、圧縮応力が被膜の底面6に向かって連続的に増加していきこの点においてその増加の度合いが変化するという強度分布上の挙動を示す点である。ここで、増加の度合いが変化するとは、被膜の底面6に向かって増加傾向にあった圧縮応力がこの極大点を境として連続的に減少することを示している。
- [0156] なお、図11においては、2つ目以降の極大点が現れる点として第4の中間点11が1点記載されているだけであるが、これは便宜的なものであってこのように1点のみに限られるものではない。
- [0157] なお、図12においては、上記の極大点は、被膜の厚み方向に幅を持たない点で存在する態様となっているが、本発明の態様としてはこのような態様のみに限らず、被膜の厚み方向に厚み(幅)をもって存在する場合も含むものとする。ここで、極大点がある厚みをもって存在するとは、極大点の圧縮応力がその厚み(好ましくは被膜の厚みの1/2以下)において、実質的に一定の値を有することをいう。このように、極大点がある厚みをもって存在することにより、靱性をさらに向上させることができる。
- [0158] したがって、本願でいう極大点とは、数学の関数用語である極大点と同意またはそれより広義の意味を有するものである。
- [0159] そして、このような極小点と極大点とは、図12に示されているように上記被膜の表面4と上記被膜の底面6との間においてそれぞれ1以上この順で交互に繰り返して存在することが好ましく、また各極小点と極大点とは互いに等間隔または不等間隔で存在し、それぞれの圧縮応力は互いに各極小点間/各極大点間で実質的に同一の数値を有するものとして存在することが好ましい。
- [0160] なお、図12においては、被膜の表面(すなわち被膜の表面からの距離が0  $\mu$  mの地点)から圧縮応力が連続的に減少する態様となっているが、本発明の態様としては

このような態様のみに限らず、たとえば図13に示したように被膜の表面の圧縮応力が被膜の底面方向に向かって一定の距離(好ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以下)の範囲内で維持される場合も含むものとする。すなわち、上記圧縮応力は、上記被膜の表面において内部よりも大きな圧縮応力(換言すれば絶対値がその内部の絶対値よりも大きくなる圧縮応力)を有するとともに、その圧縮応力が上記被膜の表面から上記第1の中間点の方向に向かって一定の距離(好ましくは $0.5\mu\text{m}$ 以下)の間維持された後、該圧縮応力が上記第1の中間点まで連続的に減少する態様が含まれる。

- [0161] このように被膜表面の圧縮応力が、その被膜の表面から被膜の底面方向に向かって一定の距離の範囲内で維持されると、特に優れた靱性を有することとなるため好ましい。
- [0162] なお、本願において圧縮応力が連続的に減少するとは、図12に示したように下に凸の状態で減少したり上に凸の状態で減少する場合だけではなく、直線的に減少する場合も含まれる。さらに、一部分において増加したり、減少の度合い(傾き)が途中で変化しているような場合あるいは段階的(階段状に減少)となっている場合であっても、全体として減少していれば、本願でいう連続的に減少する場合に含まれるものとする。
- [0163] また、本願において圧縮応力が連続的に増加するとは、図12に示したように下に凸の状態で増加する場合だけではなく、上に凸の状態で増加する場合や直線的に増加する場合も含まれる。さらに、一部分において減少したり、増加の度合い(傾き)が途中で変化しているような場合あるいは段階的(階段状に増加)となっている場合であっても、全体として増加していれば、本願でいう連続的に増加する場合に含まれるものとする。
- [0164] なお、上記の強度分布において、被膜の底面6側に最も近接して存在する点は、極小点であっても極大点であっても差し支えない。したがって、被膜の底面6における圧縮応力の増加/減少状態は、増加途中の状態であっても、減少途中の状態であっても差し支えなく、また極小点または極大点が位置することになっても差し支えない。
- [0165] このように本発明の強度分布の第4態様においては、その強度分布が上記被膜の

表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、その第1の中間点において極小点を有したものとなっている。このように被膜の表面において内部よりも大きな圧縮応力を有することにより、被膜表面で発生するクラックの発生を可能な限り抑制し、かつその極小点近傍において被膜表面部の大きな圧縮応力による被膜の自己破壊を防止し、被膜表面に負荷される衝撃等の応力を緩和することで、靱性と膜チッピングに対する耐性に優れるとともに耐摩耗性にも優れるという卓越した効果が示される。

[0166] また本発明の強度分布の第4態様においては、上記第1の中間点から上記第2の中間点まで圧縮応力が連続的に増加し、その第2の中間点において極大点を有することにより、さらに高度な靱性が提供される。そしてさらに本発明の強度分布の第4態様では、上記第2の中間点と上記被膜の底面との間において極小点と極大点とが複数存在するようにこの順で交互に繰り返して存在することにより、被膜表面で発生した亀裂の被膜内部への進展をより一層効果的に抑制することができ、膜チッピングに対する耐性がさらに向上するとともにさらに優れた耐摩耗性および靱性が示されることになる。

[0167] このようにして、本発明の表面被覆切削工具は、靱性と耐摩耗性および膜チッピングに対する耐性とを両立させることに成功したという極めて優れた効果を示すものである。

[0168] このような優れた効果は、上記のような極小点および極大点を有さず、被膜の表面から被膜の底面に向かって圧縮応力が連続的または段階的に一律に減少乃至増加することを特徴とする従来の表面被覆切削工具(特許文献1)においては示すことができない格別の効果である。

[0169] <その他>

本発明の表面被覆切削工具においては、図5に示すように上記基材2と上記被膜3との間に任意の中間層8を形成することができる。このような中間層8は、通常耐摩耗性を向上させたり、基材と被膜との密着性を向上させたりする特性を有するものであり、1層または複数層として形成することができる。なお、この場合、上記被膜の底面6は、被膜3と中間層8とが接する面となる。

[0170] このような中間層は、たとえばTiN、TiCN、TiSiN、TiAlN、AlCrN、AlVN、TiAlCrN、TiAlSiN、TiAlSiCrN、AlCrVN等により構成することができる。なお、これらの組成中、各原子比は上記被膜の組成として例示した一般式の例に倣うものとする。

[0171] <実施例>

以下、実施例を挙げて本発明をより詳細に説明するが、本発明はこれらに限定されるものではない。なお、実施例中の被膜の化合物組成はXPS(X線光電子分光分析装置)によって確認した。また圧縮応力および厚み(または被膜表面からの距離)は、上述の $\sin^2 \phi$ 法により測定した。

[0172]  $\sin^2 \phi$ 法による測定において、使用したX線のエネルギーは10keVであり、回折ピークは $\text{Ti}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{N}$ (実施例1~6、実施例11~16、実施例21~26、実施例31~36)、 $\text{Al}_{0.7}\text{Cr}_{0.3}\text{N}$ (実施例7~10)、 $\text{Al}_{0.6}\text{Ti}_{0.35}\text{Cr}_{0.05}\text{N}$ (実施例17~20)、 $\text{Al}_{0.6}\text{Ti}_{0.3}\text{Si}_{0.1}\text{N}$ (実施例27~30)および $\text{Al}_{0.6}\text{Ti}_{0.2}\text{Si}_{0.1}\text{Cr}_{0.1}\text{N}$ (実施例37~40)の(200)面とした。そして、測定した回折ピーク位置をガウス関数のフィッティングにより決定し、 $2\theta - \sin^2 \phi$ 線図の傾きを求め、ヤング率としてはダイナミック硬度計(MTS社製ナノインデント)を用いて求めた値を採用し、ポアソン比にはTiN(0.19)の値を用いて応力値とした。

[0173] なお、以下では被膜をカソードアークイオンプレーティング法により形成しているが、例えばバランスドまたはアンバランスドスパッタリング法によっても成膜することは可能である。また、以下では特定の被膜組成のものを形成しているが、これ以外の組成のものでも同様の効果を得ることができる。

[0174] <実施例1~6>

<表面被覆切削工具の作製>

まず、表面被覆切削工具の基材として、以下の表1に示す材質と工具形状(後述の各特性の評価方法により異なる)を有する切削用刃先交換型チップを用意し、これをカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0175] [表1]



	耐摩耗性の評価		靱性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
基材の材質 (JIS)	P20	P20	K20
工具形状	CNMG120408	CNMG120408	SDKN42M
被削材	SCM435	SCM435 (4 溝)	S50C 穴材
切削速度 (m/min)	350	320	180
送り (mm/rev)	0.3	0.3	—
切り込み (mm)	2.0	1.5	2.0
切削油剤	使用	使用	不使用

- [0176] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。
- [0177] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0 Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら-1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。
- [0178] 次いで、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Ti}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{N}$ が $3 \mu\text{m}$ の厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素ガスを導入させながら、基材(基板)温度450℃、反応ガス圧4.0 Paとし、基板バイアス電圧を以下の表2のように変化させることにより、カソード電極に100Aのアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表3に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例1～6の本発明の表面被覆切削工具を作製した。
- [0179] [表2]

No.	基板バイアス電圧／経過時間	
実施例 1	開始～40分 -50V	40分～60分 -50V～-150V
実施例 2	開始～40分 -75V	40分～60分 -75V～-150V
実施例 3	開始～40分 -100V	40分～60分 -100V～-150V
実施例 4	開始～50分 -75V	50分～60分 -75V～-150V
実施例 5	開始～58分 -75V	58分～60分 -75V～-150V
実施例 6	開始～59分 -75V	59分～60分 -75V～-150V

[0180] なお、上記の表2において記載されている時間は、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してからの経過時間を示している。また、各欄に示されている電圧の数値は、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示しており、たとえば「-50V」というように単一の数値が記載されている場合は、その経過時間を通して基板バイアス電圧が一定であったことを示している。この場合被膜における圧縮応力も一定の値を有することになる。一方、「-50V～-150V」というように範囲をもって記載されている場合は、その経過時間において基板バイアス電圧を-50Vから徐々に-150Vまで一定速度で増大させたことを示しており、この場合被膜の圧縮応力は徐々に増大することとなるが、電圧の増大を開始したところにおいて圧縮応力の極小点が形成されることになる。

[0181] このように基板バイアス電圧を経過時間との関係で変化させたり一定の数値とすることにより、被膜中の圧縮応力の強度分布において極小点や圧縮応力が一定の値となる部分を形成することができる。

[0182] [表3]

N o .	表面の圧縮応力	第 1 の中間点	極小点
実施例 1	-5.0 G P a	43.3% (1.3 $\mu$ m)	-1.8 G P a
実施例 2	-5.1 G P a	43.3% (1.3 $\mu$ m)	-3.0 G P a
実施例 3	-5.0 G P a	43.3% (1.3 $\mu$ m)	-4.0 G P a
実施例 4	-4.9 G P a	16.7% (0.5 $\mu$ m)	-3.0 G P a
実施例 5	-5.2 G P a	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.2 G P a
実施例 6	-5.0 G P a	1.0% (0.03 $\mu$ m)	-2.9 G P a

[0183] なお、上記表3において表面の圧縮応力の欄に記載されている数値は、被膜の表面において示される最大の圧縮応力を示している。また、第1の中間点の欄に記載されている数値は、被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から第1の中間点までの距離を示している(「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu$  m」表示との両者で示している)。また、極小点の欄に記載されている数値は、その極小点における圧縮応力を示しており、この圧縮応力は被膜の底面まで一定の値となる。

[0184] このようにして、実施例1～6の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面において最大の圧縮応力を有するとともに、上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで該圧縮応力が連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が一定の値となるものである。すなわち、この強度分布は上記で説明した第1態様の強度分布を示すものである。

[0185] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間かけて基板バイアス電圧を-20V～-150Vまで一律に上昇させることを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例1)。

[0186] この比較例1の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布が極小点を有さず、被膜の底面から被膜の表面にかけて一律に増加するものであった。

[0187] <実施例7～10>

# <表面被覆切削工具の作製>

まず、表面被覆切削工具の基材としては、実施例1～6において用いたものと同じものを用いた。そして、この基材をカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0188] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。

[0189] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0 Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら-1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。

[0190] 次いで、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Al}_{0.7}\text{Cr}_{0.3}\text{N}$ が $3 \mu\text{m}$ の厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素を導入させながら、基材(基板)温度450℃、反応ガス圧4.0 Paとし、基板バイアス電圧を以下の表4のように変化させることにより、カソード電極に100 Aのアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表5に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例7～10の本発明の表面被覆切削工具を作製した。

[0191] [表4]

No.	基板バイアス電圧／経過時間	
実施例7	開始～58分	58分～60分
	-50V	-50V～-200V
実施例8	開始～58分	58分～60分
	-50V	-50V～-175V
実施例9	開始～58分	58分～60分
	-50V	-50V～-100V
実施例10	開始～58分	58分～60分
	-50V	-50V～-75V

[0192] なお、上記の表4において記載されている時間は、表2の場合と同様、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してからの経過時間を示している。また、各欄に

示されている電圧の数値も、表2の場合と同様、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示している。

[0193] [表5]

No.	表面の圧縮応力	第1の中間点	極小点
実施例7	-8.2 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-1.8 GPa
実施例8	-6.0 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-2.0 GPa
実施例9	-4.1 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-2.1 GPa
実施例10	-3.3 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-2.2 GPa

[0194] なお、上記表5において表面の圧縮応力の欄に記載されている数値は、表3の場合と同様に被膜の表面において示される最大の圧縮応力を示している。また、第1の中間点の欄に記載されている数値も、表3の場合と同様に被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から第1の中間点までの距離を示している(「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu$ m」表示との両方で示している)。極小点の欄に記載されている数値も、表3の場合と同様、その点における圧縮応力を示しており、この圧縮応力は被膜の底面まで一定の値となる。

[0195] このようにして、実施例7～10の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面において最大の圧縮応力を有するとともに、上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで該圧縮応力が連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から上記被膜の底面まで圧縮応力が一定の値となるものである。すなわち、この強度分布は上記で説明した第1態様の強度分布を示すものである。

[0196] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間かけて基板バイアス電圧を-20V～-200Vまで一律に上昇させることを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例2)。

[0197] この比較例2の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布が極小点を有

さず、被膜の底面から被膜の表面にかけて一律に増加するものであった。

[0198] <表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価>

上記で作製した実施例1～10および比較例1～2の表面被覆切削工具のそれぞれについて、上記の表1に示す条件による湿式(水溶性エマルジョン)の連続切削試験および断続切削試験を行なった。そして、刃先の逃げ面摩耗幅が0.2mmを超える時間を切削時間として測定した。

[0199] 表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価結果として上記で測定した切削時間を下記表6および表7に示す。切削時間が長いもの程耐摩耗性が優れていることを示している。また、連続切削試験においては、被削材の仕上げ面の光沢の有無についても観察し、その観察結果を同じく表6および表7に示す。この場合、「光沢あり」とは被削材の仕上げ面が光沢を有することを示し、「白濁」とは被削材の仕上げ面が光沢を有さず白濁したことを示す。

[0200] 表6および表7から明らかなように、連続切削試験においても断続切削試験においても実施例1～10の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例1～2の表面被覆切削工具に比し、さらに耐摩耗性が向上するとともに仕上げ面に光沢を得ることができ、表面被覆切削工具の寿命がさらに向上していることを確認した。

[0201] <表面被覆切削工具の靱性の評価>

上記で作製した実施例1～10および比較例1～2の表面被覆切削工具のそれぞれについて、以下に示す条件で靱性の評価試験を行なった。

[0202] すなわち、切削条件は、上記の表1に示したようにS50Cの素材に50の貫通穴を設けたブロック(長さ300mm×幅150mm)を被削材として用い、切削速度180m/min、送り量0.10mm/刃から0.05mm/刃で増加、切り込み2.0mm、切削長300mm毎に送りを上げることとし、乾式フライス切削を行なった。

[0203] 表面被覆切削工具の靱性の評価結果として上記で測定した最大送りを下記表6および表7に示す。最大送り量が大きくなる程靱性が優れていることを示している。

[0204] 表6および表7から明らかなように、実施例1～10の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例1～2の表面被覆切削工具に比し、さらに靱性が向上していることを確認した。

[0205] [表6]

No.	耐摩耗性の評価		靱性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例 1	35分（光沢あり）	30分	0.5mm/刃
実施例 2	39分（光沢あり）	33分	0.55mm/刃
実施例 3	30分（光沢あり）	25分	0.5mm/刃
実施例 4	43分（光沢あり）	37分	0.55mm/刃
実施例 5	55分（光沢あり）	50分	0.65mm/刃
実施例 6	48分（光沢あり）	42分	0.6mm/刃
比較例 1	3分（白濁）	10秒	0.1mm/刃

[0206] [表7]

No.	耐摩耗性の評価		靱性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例 7	30分（光沢あり）	23分	0.45mm/刃
実施例 8	32分（光沢あり）	25分	0.50mm/刃
実施例 9	34分（光沢あり）	28分	0.55mm/刃
実施例 10	33分（光沢あり）	26分	0.55mm/刃
比較例 2	3分（白濁）	15秒	0.1mm/刃

[0207] &lt;実施例11～16&gt;

## &lt;表面被覆切削工具の作製&gt;

まず、表面被覆切削工具の基材として、上記表1に示す材質と工具形状（後述の各特性の評価方法により異なる）を有する切削用刃先交換型チップを用意し、これをカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0208] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。

[0209] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら－1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。

[0210] 次いで、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Ti}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{N}$ が $3\mu\text{m}$ の厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素ガスを導入させながら、基材(基板)温度 $450^{\circ}\text{C}$ 、反応ガス圧 $4.0\text{Pa}$ とし、基板バイアス電圧を以下の表8のように変化させることにより、カソード電極に $100\text{A}$ のアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表9に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例11~16の本発明の表面被覆切削工具を作製した。

[0211] [表8]

No.	基板バイアス電圧／経過時間	
実施例11	開始～40分 -130V～-50V	40分～60分 -50V～-160V
実施例12	開始～40分 -130V～-75V	40分～60分 -75V～-160V
実施例13	開始～40分 -130V～-100V	40分～60分 -100V～-160V
実施例14	開始～50分 -130V～-75V	50分～60分 -75V～-160V
実施例15	開始～58分 -130V～-75V	58分～60分 -75V～-160V
実施例16	開始～59分 -130V～-75V	59分～60分 -75V～-160V

[0212] なお、上記の表8において記載されている時間は、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してからの経過時間を示している。また、各欄に示されている電圧の数値は、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示しており、たとえば「-130V～-50V」というような範囲をもって記載されている場合は、その経過時間において基板バイアス電圧を-130Vから徐々に-50Vまで一定速度で減少させたことを示しており、この場合被膜の圧縮応力は徐々に減少することとなる。一方、「-50V～-160V」というような範囲をもって記載されている場合は、その経過時間において基板バイアス電圧を-50Vから徐々に-160Vまで一定速度で増大させたことを示しており、この場合被膜の圧縮応力は徐々に増大することとなるが、電圧の増大を開



始したところにおいて圧縮応力の極小点が形成されることになる。

[0213] このように基板バイアス電圧を経過時間との関係で変化させることにより、被膜中の圧縮応力の強度分布において極小点や連続的に増加したりあるいは減少したりする状態を形成することができる。

[0214] [表9]

N o.	表面の圧縮応力	第 1 の中間点	極小点	底面の圧縮応力
実施例 11	-5.5 G P a	33.3% (1.0 $\mu$ m)	-2.0 G P a	-4.6 G P a
実施例 12	-5.6 G P a	33.3% (1.0 $\mu$ m)	-3.1 G P a	-4.5 G P a
実施例 13	-5.4 G P a	36.7% (1.1 $\mu$ m)	-4.0 G P a	-4.4 G P a
実施例 14	-5.5 G P a	16.7% (0.5 $\mu$ m)	-3.0 G P a	-4.5 G P a
実施例 15	-5.6 G P a	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.1 G P a	-4.5 G P a
実施例 16	-5.5 G P a	1.7% (0.05 $\mu$ m)	-2.9 G P a	-4.6 G P a

[0215] なお、上記表9において表面の圧縮応力および底面の圧縮応力の欄に記載されている数値は、それぞれ被膜の表面および被膜の底面において示される圧縮応力を示している。また、第1の中間点の欄に記載されている数値は、被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から第1の中間点までの距離を示している(「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu$  m」表示との両者で示している)。また、極小点の欄に記載されている数値は、その極小点における圧縮応力を示している。

[0216] このようにして、実施例11～16の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から上記被膜の底面まで該圧縮応力が連続的に増加するものである。すなわち、この強度分布は上記で説明した第2態様の強度分布を示すものである。

[0217] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間かけて基板バイアス電圧を-20V～-150Vまで一律に上昇させることを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例3)。

[0218] この比較例3の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布が極小点を有さず、被膜の底面から被膜の表面にかけて一律に増加するものであった。

[0219] <実施例17～20>

<表面被覆切削工具の作製>

まず、表面被覆切削工具の基材としては、実施例11～16において用いたものと同じものを用いた。そして、この基材をカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0220] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。

[0221] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0 Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら－1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。

[0222] 次いで、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Al}_{0.6} \text{Ti}_{0.35} \text{Cr}_{0.05} \text{N}$ が3  $\mu\text{m}$ の厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素を導入させながら、基材(基板)温度450℃、反応ガス圧4.0 Paとし、基板バイアス電圧を以下の表10のように変化させることにより、カソード電極に100Aのアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表11に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例17～20の本発明の表面被覆切削工具を作製した。

[0223] [表10]

No.	基板バイアス電圧／経過時間	
	開始～58分	58分～60分
実施例17	-140V～-80V	-80V～-260V
実施例18	-140V～-80V	-80V～-240V
実施例19	-140V～-80V	-80V～-140V
実施例20	-140V～-80V	-80V～-95V

[0224] なお、上記の表10において記載されている時間は、表8の場合と同様、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してからの経過時間を示している。また、各欄に示されている電圧の数値も、表8の場合と同様、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示している。

[0225] [表11]

No.	表面の圧縮応力	第1の中間点	極小点	底面の圧縮応力
実施例17	-8.0GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.0GPa	-4.5GPa
実施例18	-6.8GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.1GPa	-4.3GPa
実施例19	-4.6GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.2GPa	-4.4GPa
実施例20	-3.5GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.0GPa	-4.3GPa

[0226] なお、上記表11において表面の圧縮応力および底面の圧縮応力の欄に記載されている数値は、表9の場合と同様にそれぞれ被膜の表面および被膜の底面において示される圧縮応力を示している。また、第1の中間点の欄に記載されている数値も、表9の場合と同様に被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から第1の中間点までの距離を示している（「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu$ m」表示との両者で示している）。極小点の欄に記載されている数値も、表9の場合と同様、その点における圧縮応力を示している。

[0227] このようにして、実施例17～20の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するよ

うに変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から上記被膜の底面まで該圧縮応力が連続的に増加するものである。すなわち、この強度分布は上記で説明した第2態様の強度分布を示すものである。

[0228] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間基板バイアス電圧を $-75\text{V}$ で維持することを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例4)。

[0229] この比較例4の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布がなく、被膜の底面から被膜の表面にかけてその圧縮応力が一定であった。

[0230] <表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価>

上記で作製した実施例11～20および比較例3～4の表面被覆切削工具のそれぞれについて、上記の表1に示す条件による湿式(水溶性エマルジョン)の連続切削試験および断続切削試験を行なった。そして、刃先の逃げ面摩耗幅が $0.2\text{mm}$ を超える時間を切削時間として測定した。

[0231] 表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価結果として上記で測定した切削時間を下記表12および表13に示す。切削時間が長いもの程耐摩耗性が優れていることを示している。また、連続切削試験においては、被削材の仕上げ面の光沢の有無についても観察し、その観察結果を同じく表12および表13に示す。この場合、「光沢あり」とは被削材の仕上げ面が光沢を有することを示し、「白濁」とは被削材の仕上げ面が光沢を有さず白濁したことを示す。

[0232] 表12および表13から明らかなように、連続切削試験においても断続切削試験においても実施例11～20の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例3～4の表面被覆切削工具に比し、さらに耐摩耗性が向上するとともに仕上げ面に光沢を得ることができることから膜チップングに対する耐性にも優れ、かつ表面被覆切削工具の寿命がさらに向上していることを確認した。

[0233] <表面被覆切削工具の靱性の評価>

上記で作製した実施例11～20および比較例3～4の表面被覆切削工具のそれぞれ

れについて、以下に示す条件で靱性の評価試験を行なった。

[0234] すなわち、切削条件は、上記の表1に示したようにS50Cの素材に50の貫通穴を設けたブロック(長さ300mm×幅150mm)を被削材として用い、切削速度180m/min、切り込み2.0mm、切削長300mm毎に送り量を0.10mm/刃から0.05mm/刃ずつ上げる条件で、乾式フライス切削を行なった。

[0235] 表面被覆切削工具の靱性の評価結果として上記で測定した最大送りを下記表12および表13に示す。最大送り量が大きくなる程靱性が優れていることを示している。

[0236] 表12および表13から明らかなように、実施例11～20の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例3～4の表面被覆切削工具に比し、さらに靱性が向上していることを確認した。

[0237] [表12]

No.	耐摩耗性の評価		靱性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例11	34分(光沢あり)	34分	0.6mm/刃
実施例12	37分(光沢あり)	36分	0.6mm/刃
実施例13	29分(光沢あり)	34分	0.6mm/刃
実施例14	41分(光沢あり)	41分	0.65mm/刃
実施例15	51分(光沢あり)	53分	0.7mm/刃
実施例16	45分(光沢あり)	45分	0.65mm/刃
比較例3	3分(白濁)	10秒	0.1mm/刃

[0238] [表13]

No.	耐摩耗性の評価		靱性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例17	47分(光沢あり)	62分	0.8mm/刃
実施例18	49分(光沢あり)	57分	0.75mm/刃
実施例19	52分(光沢あり)	41分	0.65mm/刃
実施例20	54分(光沢あり)	30分	0.5mm/刃
比較例4	2分(白濁)	5秒	0.1mm/刃で 初期に欠損

[0239] <実施例21～26>

<表面被覆切削工具の作製>

まず、表面被覆切削工具の基材として、上記表1に示す材質と工具形状(後述の各特性の評価方法により異なる)を有する切削用刃先交換型チップを用意し、これをカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0240] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。

[0241] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0 Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら-1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。

[0242] 次いで、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Ti}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{N}$ が $3 \mu\text{m}$ の厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素ガスを導入させながら、基材(基板)温度450℃、反応ガス圧4.0 Paとし、基板バイアス電圧を以下の表14のように変化させることにより、カソード電極に100Aのアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表15に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例21～26の本発明の表面被覆切削工具を作製した。

[0243] [表14]

No.	基板バイアス電圧／経過時間		
	開始～30分	30分～40分	40分～60分
実施例2 1	－30V～－130V	－130V～－50V	－50V～－160V
実施例2 2	開始～30分	30分～40分	40分～60分
	－30V～－130V	－130V～－75V	－75V～－160V
実施例2 3	開始～30分	30分～40分	40分～60分
	－30V～－130V	－130V～－100V	－100V～－160V
実施例2 4	開始～30分	30分～50分	50分～60分
	－30V～－130V	－130V～－75V	－75V～－160V
実施例2 5	開始～30分	30分～58分	58分～60分
	－30V～－130V	－130V～－75V	－75V～－160V
実施例2 6	開始～30分	30分～59分	59分～60分
	－30V～－130V	－130V～－75V	－75V～－160V

[0244] なお、上記の表14において記載されている時間は、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してからの経過時間を示している。また、各欄に示されている電圧の数値は、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示しており、たとえば「－30V～－130V」というような範囲をもって記載されている場合は、その経過時間において基板バイアス電圧を－30Vから徐々に－130Vまで一定速度で増大させたことを示しており、この場合被膜の圧縮応力は徐々に増加することとなる。一方、「－13

0V～－50V」というような範囲をもって記載されている場合は、その経過時間において基板バイアス電圧を－130Vから徐々に－50Vまで一定速度で減少させたことを示しており、この場合被膜の圧縮応力は徐々に減少することとなる。そして、電圧の変化が増大から減少に転じる点、ならびに電圧の変化が減少から増大に転じる点において、それぞれ圧縮応力の極大点ならびに極小点が形成されることになる。

[0245] このように基板バイアス電圧を経過時間との関係で変化させることにより、被膜中の圧縮応力の強度分布において極大点ならびに極小点や、連続的に増加したりあるいは減少したりする状態を形成することができる。

[0246] [表15]



No.	表面の圧縮応力	第1の中間点	極小点	第2の中間点	極大点	底面の圧縮応力
実施例 21	-5.4 GPa	36.7% (1.1 $\mu$ m)	-2.1 GPa	50.0% (1.5 $\mu$ m)	-4.5 GPa	-0.9 GPa
実施例 22	-5.6 GPa	33.3% (1.0 $\mu$ m)	-3.0 GPa	50.0% (1.5 $\mu$ m)	-4.6 GPa	-1.0 GPa
実施例 23	-5.5 GPa	33.3% (1.0 $\mu$ m)	-4.1 GPa	53.3% (1.6 $\mu$ m)	-4.5 GPa	-1.0 GPa
実施例 24	-5.5 GPa	16.7% (0.5 $\mu$ m)	-3.0 GPa	50.0% (1.5 $\mu$ m)	-4.4 GPa	-1.1 GPa
実施例 25	-5.6 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.0 GPa	46.7% (1.4 $\mu$ m)	-4.5 GPa	-1.0 GPa
実施例 26	-5.5 GPa	1.7% (0.05 $\mu$ m)	-3.1 GPa	50.0% (1.5 $\mu$ m)	-4.5 GPa	-0.9 GPa

[0247] なお、上記表15において表面の圧縮応力および底面の圧縮応力の欄に記載されている数値は、それぞれ被膜の表面および被膜の底面において示される圧縮応力

を示している。また、第1の中間点および第2の中間点の欄に記載されている数値は、被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から、該第1の中間点および該第2の中間点までの距離をそれぞれ示している(「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu\text{m}$ 」表示との両者で示している)。また、極小点および極大点の欄に記載されている数値は、その極小点および極大点における圧縮応力をそれぞれ示している。

[0248] このようにして、実施例21～26の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から、該第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで連続的に増加し、該第2の中間点において極大点を有し、そして該第2の中間点から上記被膜の底面まで連続的に減少するものである。すなわち、この強度分布は上記で説明した第3態様の強度分布を示すものである。

[0249] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間かけて基板バイアス電圧を $-20\text{V}$ ～ $-150\text{V}$ まで一律に上昇させることを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例5)。

[0250] この比較例5の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布が極小点および極大点を有さず、被膜の底面から被膜の表面にかけて一律に増加するものであった。

[0251] <実施例27～30>

<表面被覆切削工具の作製>

まず、表面被覆切削工具の基材としては、実施例21～26において用いたものと同じものを用いた。そして、この基材をカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0252] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に

設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。

[0253] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0 Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら-1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。

[0254] 次に、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Al}_{0.6}\text{Ti}_{0.3}\text{Si}_{0.1}\text{N}$ が3  $\mu\text{m}$ の厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素を導入させながら、基材(基板)温度450℃、反応ガス圧4.0 Paとし、基板バイアス電圧を以下の表16のように変化させることにより、カソード電極に100Aのアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表17に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例27～30の本発明の表面被覆切削工具を作製した。

[0255] [表16]

No.	基板バイアス電圧／経過時間		
	開始～30分 -30V～-100V	30分～58分 -100V～-75V	58分～60分 -75V～-160V
実施例27	開始～30分 -30V～-100V	30分～58分 -100V～-75V	58分～60分 -75V～-160V
実施例28	開始～30分 -30V～-160V	30分～58分 -160V～-75V	58分～60分 -75V～-160V
実施例29	開始～30分 -30V～-230V	30分～58分 -230V～-75V	58分～60分 -75V～-160V
実施例30	開始～30分 -30V～-260V	30分～58分 -260V～-75V	58分～60分 -75V～-160V

[0256] なお、上記の表16において記載されている時間は、表14の場合と同様、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してからの経過時間を示している。また、各欄に示されている電圧の数値も、表14の場合と同様、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示している。

[0257] [表17]

No.	表面の圧縮応力	第1の中間点	極小点	第2の中間点	極大点	底面の圧縮応力
実施例 27	-5.5 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.1 GPa	50.0% (1.5 $\mu$ m)	-4.0 GPa	-1.0 GPa
実施例 28	-5.5 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.0 GPa	46.7% (1.4 $\mu$ m)	-5.5 GPa	-1.0 GPa
実施例 29	-5.4 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.0 GPa	50.0% (1.5 $\mu$ m)	-6.5 GPa	-0.9 GPa
実施例 30	-5.6 GPa	3.3% (0.1 $\mu$ m)	-3.2 GPa	53.3% (1.6 $\mu$ m)	-8.0 GPa	-1.0 GPa

[0258] なお、上記表17において表面の圧縮応力および底面の圧縮応力の欄に記載され

ている数値は、表15の場合と同様にそれぞれ被膜の表面および被膜の底面において示される圧縮応力を示している。また、第1の中間点および第2の中間点の欄に記載されている数値も、表15の場合と同様に被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から各中間点までの距離をそれぞれ示している(「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu\text{m}$ 」表示との両者で示している)。極小点および極大点の欄に記載されている数値も、表15の場合と同様、その点における圧縮応力をそれぞれ示している。

[0259] このようにして、実施例27～30の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から、該第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで連続的に増加し、該第2の中間点において極大点を有し、そして該第2の中間点から上記被膜の底面まで連続的に減少するものである。すなわち、この強度分布は上記で説明した第3態様の強度分布を示すものである。

[0260] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間基板バイアス電圧を $-75\text{V}$ で維持したことを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例6)。

[0261] この比較例6の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布がなく、被膜の底面から被膜の表面にかけてその圧縮応力が一定であった。

[0262] <表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価>

上記で作製した実施例21～30および比較例5～6の表面被覆切削工具のそれぞれについて、上記の表1に示す条件による湿式(水溶性エマルジョン)の連続切削試験および断続切削試験を行なった。そして、刃先の逃げ面摩耗幅が $0.2\text{mm}$ を超える時間を切削時間として測定した。

[0263] 表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価結果として上記で測定した切削時間を下記

表18および表19に示す。切削時間が長いもの程耐摩耗性が優れていることを示している。また、連続切削試験においては、被削材の仕上げ面の光沢の有無についても観察し、その観察結果を同じく表18および表19に示す。この場合、「光沢あり」とは被削材の仕上げ面が光沢を有することを示し、「白濁」とは被削材の仕上げ面が光沢を有さず白濁したことを示す。

[0264] 表18および表19から明らかなように、連続切削試験においても断続切削試験においても実施例21～30の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例5～6の表面被覆切削工具に比し、さらに耐摩耗性が向上するとともに仕上げ面に光沢を得ることができることから膜チップングに対する耐性にも優れ、かつ表面被覆切削工具の寿命がさらに向上していることを確認した。

[0265] <表面被覆切削工具の靱性の評価>

上記で作製した実施例21～30および比較例5～6の表面被覆切削工具のそれぞれについて、以下に示す条件で靱性の評価試験を行なった。

[0266] すなわち、切削条件は、上記の表1に示したようにS50Cの素材に50の貫通穴を設けたブロック(長さ300mm×幅150mm)を被削材として用い、切削速度180m/min、切り込み2.0mm、切削長300mm毎に送り量を0.10mm/刃から0.05mm/刃ずつ上げる条件で、乾式フライス切削を行なった。

[0267] 表面被覆切削工具の靱性の評価結果として上記で測定した最大送りを下記表18および表19に示す。最大送り量が大きくなる程靱性が優れていることを示している。

[0268] 表18および表19から明らかなように、実施例21～30の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例5～6の表面被覆切削工具に比し、さらに靱性が向上していることを確認した。

[0269] [表18]

No.	耐摩耗性の評価		韌性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例 2 1	45 分 (光沢あり)	35 分	0.6mm/刃
実施例 2 2	48 分 (光沢あり)	38 分	0.65mm/刃
実施例 2 3	30 分 (光沢あり)	36 分	0.6mm/刃
実施例 2 4	40 分 (光沢あり)	43 分	0.7mm/刃
実施例 2 5	62 分 (光沢あり)	55 分	0.75mm/刃
実施例 2 6	55 分 (光沢あり)	45 分	0.7mm/刃
比較例 5	3 分 (白濁)	10 秒	0.1mm/刃

[0270] [表19]



No.	耐摩耗性の評価		韌性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例27	60分 (光沢あり)	54分	0.7mm/刃
実施例28	62分 (光沢あり)	59分	0.8mm/刃
実施例29	59分 (光沢あり)	61分	0.8mm/刃
実施例30	57分 (光沢あり)	64分	0.85mm/刃
比較例6	15分 (白濁)	5秒	0.1mm/刃で 初期に欠損

[0271] <実施例31～36>

<表面被覆切削工具の作製>

まず、表面被覆切削工具の基材として、上記表1に示す材質と工具形状(後述の各特性の評価方法により異なる)を有する切削用刃先交換型チップを用意し、これをカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0272] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。

[0273] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら-1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。

[0274] 次いで、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Ti}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{N}$ が $3\mu\text{m}$ の厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素ガスを導入させながら、基材(基板)温度 $450^{\circ}\text{C}$ 、反応ガス圧 $4.0\text{Pa}$ とし、基板バイアス電圧を以下の表20のように変化させることにより、60分間カソード電極に $100\text{A}$ のアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表21に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例31～36の本発明の表面被覆切削工具を作製した。

[0275] [表20]

No.	第1サイクル (時間/基板バイアス電圧)	第2サイクル (時間/基板バイアス電圧)
実施例31	15分 -150V~-50V	15分 -50V~-150V
実施例32	5分 -150V~-50V	5分 -50V~-150V
実施例33	1分 -150V~-50V	1分 -50V~-150V
実施例34	1分 -150V~-50V	2分 -50V~-150V
実施例35	12分 -20V~-210V	12分 -210V~-20V
実施例36	12分 -75V~-150V	12分 -150V~-75V

[0276] なお、上記の表20における「第1サイクル」および「第2サイクル」は、60分間の間これらの各サイクルに記載されている時間毎にこれらの両サイクルを交互に繰り返すことによつて（「第1サイクル」から開始するが、必ずしも「第2サイクル」で終了する必要はない）基板バイアス電圧を印加することを示している。すなわち、各サイクルに記載されている時間は、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発をさせる経過時間を示している。また、各記載されている電圧の数値は、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示しており、たとえば「 $-150\text{V} \sim -50\text{V}$ 」というような範囲をもつて記載しているのは、その経過時間において基板バイアス電圧を $-150\text{V}$ から徐々に $-50\text{V}$ まで一定速度で減少させたことを示しており、この場合被膜の圧縮応力は徐々に減少することとなる。一方、「 $-50\text{V} \sim -150\text{V}$ 」というような範囲をもつて記載されている場合は、その経過時間において基板バイアス電圧を $-50\text{V}$ から徐々に $-150\text{V}$ まで一定速度で増加させたことを示しており、この場合被膜の圧縮応力は徐々に増加することとなる。そして、電圧の変化が減少から増加に転じる点（すなわち「第1サイクル」から「第2サイクル」に切り替わる点など）、ならびに電圧の変化が増加から減少に転じる点（すなわち「第2サイクル」から「第1サイクル」に切り替わる点など）において、それぞれ圧縮応力の極小点ならびに極大点が形成されることになる。

[0277] このように基板バイアス電圧を経過時間との関係で変化させることにより、被膜中の圧縮応力の強度分布において極大点ならびに極小点や、連続的に増加したりあるいは減少したりする状態を形成することができる。

[0278] [表21]

No.	表面の 圧縮応力	第1の 中間点	極小点	第2の 中間点	極大点	極小点 数/距離	極大点 数/距離	底面の 圧縮応力
実施例 3 1	-5 GPa	25 % 0.75 $\mu\text{m}$	-2.0 GPa ~-1.6 GPa	50 % 1.5 $\mu\text{m}$	-5 GPa	2/ 1.5 $\mu\text{m}$	1/ - $\mu\text{m}$	-5 GPa
実施例 3 2	-5 GPa	8.3 % 0.25 $\mu\text{m}$	-2.0 GPa ~-1.6 GPa	16.7 % 0.5 $\mu\text{m}$	-5.2 GPa ~-4.8 GPa	6/ 0.5 $\mu\text{m}$	5/ 0.5 $\mu\text{m}$	-5 GPa
実施例 3 3	-5 GPa	1.7 % 0.05 $\mu\text{m}$	-2.0 GPa ~-1.6 GPa	3.3 % 0.1 $\mu\text{m}$	-5.4 GPa ~-4.5 GPa	30/ 0.1 $\mu\text{m}$	29/ 0.1 $\mu\text{m}$	-5 GPa
実施例 3 4	-5 GPa	1.7 % 0.05 $\mu\text{m}$	-2.0 GPa ~-1.6 GPa	5.0 % 0.15 $\mu\text{m}$	-5.2 GPa ~-4.5 GPa	20/ 0.15 $\mu\text{m}$	19/ 0.15 $\mu\text{m}$	-5 GPa
実施例 3 5	-7 GPa	20 % 0.6 $\mu\text{m}$	-1.1 GPa ~-0.8 GPa	40 % 1.2 $\mu\text{m}$	-7.1 GPa ~-6.8 GPa	2/ 1.2 $\mu\text{m}$	2/ 1.2 $\mu\text{m}$	-1 GPa
実施例 3 6	-5 GPa	20 % 0.6 $\mu\text{m}$	-3.3 GPa ~-2.9 GPa	40 % 1.2 $\mu\text{m}$	-5.2 GPa ~-4.8 GPa	2/ 1.2 $\mu\text{m}$	2/ 1.2 $\mu\text{m}$	-3 GPa

[0279] なお、上記表21において表面の圧縮応力および底面の圧縮応力の欄に記載されている数値は、それぞれ被膜の表面および被膜の底面において示される圧縮応力を示している。また、第1の中間点および第2の中間点の欄に記載されている数値は

、被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から、該第1の中間点および該第2の中間点までの距離をそれぞれ示している(「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu\text{m}$ 」表示との両方で示している)。また、極小点および極大点の欄に記載されている数値は、各極小点および各極大点における圧縮応力をそれぞれ示している(なお、数値に範囲を伴っているが、この数値範囲内において実質的に同一の数値の圧縮応力を有していることとする)。また、極小点の数／距離および極大点の数／距離は、それぞれ被膜の表面から被膜の底面までの間に存在する極小点および極大点それぞれの個数と、各極小点間および各極大点間の距離を示している。

[0280] このようにして、実施例31～36の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から、該第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで連続的に増加し、該第2の中間点において極大点を有し、さらに該第2の中間点と上記被膜の底面との間に上記同様の極小点および極大点をそれぞれ1以上有している。そして、これらの極小点および極大点は、それぞれこの順で交互に繰り返して存在するものとなっており、各実施例における極小点はすべて実質的に同一の数値となる圧縮応力を有し、かつ各実施例における極大点はすべて実質的に同一の数値となる圧縮応力を有し、各極小点と各極大点とは実質的に等間隔で存在している。すなわち、この強度分布は上記で説明した第4態様の強度分布の一例を示すものである。

[0281] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間かけて基板バイアス電圧を $-20\text{V}$ ～ $-150\text{V}$ まで一律に上昇させることを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例7)。

[0282] この比較例7の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布が極小点および極大点を有さず、被膜の底面から被膜の表面にかけて一律に増加するものであった。

[0283] <実施例37～40>

<表面被覆切削工具の作製>

まず、表面被覆切削工具の基材としては、実施例31～36において用いたものと同じものを用いた。そして、この基材をカソードアークイオンプレーティング装置に装着した。

[0284] 続いて、真空ポンプにより該装置のチャンバー内を減圧するとともに、該装置内に設置されたヒーターにより上記基材の温度を450℃に加熱し、チャンバー内の圧力が $1.0 \times 10^{-4}$  Paとなるまで真空引きを行なった。

[0285] 次に、アルゴンガスを導入してチャンバー内の圧力を3.0 Paに保持し、上記基材の基板バイアス電源の電圧を徐々に上げながら－1500Vとし、基材の表面のクリーニングを15分間行なった。その後、アルゴンガスを排気した。

[0286] 次いで、上記基材上に直接接するように形成される被膜として $\text{Al}_{0.6} \text{Ti}_{0.2} \text{Si}_{0.1} \text{Cr}_{0.1} \text{N}$ が3 μmの厚みで形成されるように、金属蒸発源である合金製ターゲットをセットするとともに、反応ガスとして窒素を導入させながら、基材(基板)温度450℃、反応ガス圧4.0 Paとし、基板バイアス電圧を以下の表22のように変化させることにより、60分間カソード電極に100Aのアーク電流を供給し、アーク式蒸発源から金属イオンを発生させることにより、以下の表23に示す圧縮応力の強度分布を有する実施例37～40の本発明の表面被覆切削工具を作製した。

[0287] [表22]

No.	第1サイクル (時間/基板バイアス電圧)	第2サイクル (時間/基板バイアス電圧)
実施例37	5分 -210V~-20V	5分 -20V~-210V
実施例38	5分 -210V~-60V	5分 -60V~-210V
実施例39	5分 -210V~-100V	5分 -100V~-210V
実施例40	5分 -210V~-150V	5分 -150V~-210V

[0288] なお、上記の表22において記載されている「第1サイクル」および「第2サイクル」は、表20の場合と同様、60分間の間これらの両サイクルに記載されている時間毎にこれらの両サイクルを交互に繰り返すことによって(「第1サイクル」から開始する)基板バイアス電圧を印加することを示している。また、各欄に記載されている時間および電圧の数値も、表20の場合と同様、上記の経過時間に対応する基板のバイアス電圧を示している。

[0289] [表23]

No.	表面の 圧縮応力	第1の 中間点	極小点	第2の 中間点	極大点	極小点 数/距離	極大点 数/距離	底面の 圧縮応力
実施例 37	-7 GPa	8.3 % 0.25 $\mu\text{m}$	-1.1 GPa ~-0.8 GPa	16.7 % 0.5 $\mu\text{m}$	-7.1 GPa ~-6.8 GPa	6/ 0.5 $\mu\text{m}$	5/ 0.5 $\mu\text{m}$	-7 GPa
実施例 38	-7 GPa	8.3 % 0.25 $\mu\text{m}$	-2.2 GPa ~-1.8 GPa	16.7 % 0.5 $\mu\text{m}$	-7.1 GPa ~-6.8 GPa	6/ 0.5 $\mu\text{m}$	5/ 0.5 $\mu\text{m}$	-7 GPa
実施例 39	-7 GPa	8.3 % 0.25 $\mu\text{m}$	-4.2 GPa ~-3.8 GPa	16.7 % 0.5 $\mu\text{m}$	-7.1 GPa ~-6.8 GPa	6/ 0.5 $\mu\text{m}$	5/ 0.5 $\mu\text{m}$	-7 GPa
実施例 40	-7 GPa	8.3 % 0.25 $\mu\text{m}$	-5.3 GPa ~-4.9 GPa	16.7 % 0.5 $\mu\text{m}$	-7.1 GPa ~-6.8 GPa	6/ 0.5 $\mu\text{m}$	5/ 0.5 $\mu\text{m}$	-7 GPa

[0290] なお、上記表23において表面の圧縮応力および底面の圧縮応力の欄に記載されている数値は、表21の場合と同様にそれぞれ被膜の表面および被膜の底面において示される圧縮応力を示している。また、第1の中間点および第2の中間点の欄に記



載されている数値も、表21の場合と同様に被膜の厚み方向の距離として被膜の表面から各中間点までの距離をそれぞれ示している(「%」表示の数値は被膜の厚みに対するものであり、「 $\mu\text{m}$ 」表示との両者で示している)。極小点および極大点の欄に記載されている数値も、表21の場合と同様、その点における圧縮応力をそれぞれ示している(なお、数値に範囲を伴っているが、この数値範囲内において実質的に同一の数値の圧縮応力を有していることとする)。また、極小点の数/距離および極大点の数/距離は、表21の場合と同様、それぞれ被膜の表面から被膜の底面までの間に存在する極小点および極大点それぞれの個数と、各極小点間および各極大点間の距離を示している。

[0291] このようにして、実施例37～40の本発明の表面被覆切削工具は、基材と、該基材上に形成された被膜とを備え、該被膜は、該基材上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、該圧縮応力は、上記被膜の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、該強度分布は、上記被膜の表面の圧縮応力が上記被膜の表面から、上記被膜の表面と上記被膜の底面との間に位置する第1の中間点まで連続的に減少し、該第1の中間点において極小点を有するとともに、該第1の中間点から、該第1の中間点と上記被膜の底面との間に位置する第2の中間点まで連続的に増加し、該第2の中間点において極大点を有し、さらに該第2の中間点と上記被膜の底面との間に上記同様の極小点および極大点をそれぞれ1以上有している。そして、これらの極小点および極大点は、それぞれこの順で交互に繰り返して存在するものとなっており、各実施例における極小点はすべて実質的に同一の数値となる圧縮応力を有し、かつ各実施例における極大点はすべて実質的に同一の数値となる圧縮応力を有し、各極小点と各極大点とは実質的に等間隔で存在している。すなわち、この強度分布は上記で説明した第4態様の強度分布の一例を示すものである。

[0292] なお、比較のため、合金製ターゲットにより金属イオンの蒸発を開始してから60分間基板バイアス電圧を $-75\text{V}$ で維持したことを除き、上記と同様にして表面被覆切削工具を作製した(比較例8)。

[0293] この比較例8の表面被覆切削工具は、被膜の圧縮応力の強度分布がなく、被膜の底面から被膜の表面にかけてその圧縮応力が一定であった。

[0294] <表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価>

上記で作製した実施例31～40および比較例7～8の表面被覆切削工具のそれぞれについて、上記の表1に示す条件による湿式(水溶性エマルジョン)の連続切削試験および断続切削試験を行なった。そして、刃先の逃げ面摩耗幅が0.2mmを超える時間を切削時間として測定した。

[0295] 表面被覆切削工具の耐摩耗性の評価結果として上記で測定した切削時間を下記表24および表25に示す。切削時間が長いもの程耐摩耗性が優れていることを示している。また、連続切削試験においては、被削材の仕上げ面の光沢の有無についても観察し、その観察結果を同じく表24および表25に示す。この場合、「光沢あり」とは被削材の仕上げ面が光沢を有することを示し、「白濁」とは被削材の仕上げ面が光沢を有さず白濁したことを示す。

[0296] 表24および表25から明らかなように、連続切削試験においても断続切削試験においても実施例31～40の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例7～8の表面被覆切削工具に比し、さらに耐摩耗性が向上するとともに仕上げ面に光沢を得ることができることから膜チップングに対する耐性にも優れ、かつ表面被覆切削工具の寿命がさらに向上していることを確認した。

[0297] <表面被覆切削工具の靱性の評価>

上記で作製した実施例31～40および比較例7～8の表面被覆切削工具のそれぞれについて、以下に示す条件で靱性の評価試験を行なった。

[0298] すなわち、切削条件は、上記の表1に示したようにS50Cの素材に50の貫通穴を設けたブロック(長さ300mm×幅150mm)を被削材として用い、切削速度180m/min、切り込み2.0mm、切削長300mm毎に送り量を0.10mm/刃から0.05mm/刃ずつ上げる条件で、乾式フライス切削を行なった。

[0299] 表面被覆切削工具の靱性の評価結果として上記で測定した最大送りを下記表24および表25に示す。最大送り量が大きくなる程靱性が優れていることを示している。

[0300] 表24および表25から明らかなように、実施例31～40の本発明に係る表面被覆切削工具は、比較例7～8の表面被覆切削工具に比し、さらに靱性が向上していることを確認した。

[0301] [表24]

No.	耐摩耗性の評価		韌性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例3 1	51分 (光沢あり)	39分	0.7mm/刃
実施例3 2	57分 (光沢あり)	49分	0.75mm/刃
実施例3 3	65分 (光沢あり)	56分	0.8mm/刃
実施例3 4	63分 (光沢あり)	59分	0.8mm/刃
実施例3 5	53分 (光沢あり)	43分	0.8mm/刃
実施例3 6	47分 (光沢あり)	47分	0.8mm/刃
比較例7	3分 (白濁)	10秒	0.1mm/刃

[0302] [表25]

No.	耐摩耗性の評価		朝性の評価
	連続切削試験	断続切削試験	
実施例 37	79 分 (光沢あり)	47 分	0.65mm/刃
実施例 38	74 分 (光沢あり)	63 分	0.8mm/刃
実施例 39	65 分 (光沢あり)	67 分	0.85mm/刃
実施例 40	62 分 (光沢あり)	59 分	0.75mm/刃
比較例 8	8 分 (白濁)	12 秒	0.1mm/刃

[0303] 今回開示された実施の形態および実施例はすべての点で例示であつて制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

## 請求の範囲

- [1] 基材(2)と、該基材(2)上に形成された被膜(3)とを備える表面被覆切削工具(1)であって、  
前記被膜(3)は、前記基材(2)上の最外層となるものであり、かつ圧縮応力を有しており、  
前記圧縮応力は、前記被膜(3)の厚み方向に強度分布を有するように変化しており、  
前記強度分布は、前記被膜の表面(4)の圧縮応力が前記被膜の表面(4)から、前記被膜の表面(4)と前記被膜の底面(6)との間に位置する第1の中間点(5)まで連続的に減少し、前記第1の中間点(5)において極小点を有することを特徴とする、表面被覆切削工具(1)。
- [2] 前記強度分布は、前記被膜の表面(4)において最大の圧縮応力を有するとともに、前記第1の中間点(5)から前記被膜の底面(6)まで圧縮応力が一定の値となることを特徴とする、請求項1記載の表面被覆切削工具(1)。
- [3] 前記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力であることを特徴とする、請求項2記載の表面被覆切削工具(1)。
- [4] 前記第1の中間点(5)は、前記被膜の表面(4)から、前記被膜(3)の厚みの $0.1\%$ 以上 $50\%$ 以下の距離を有して位置することを特徴とする、請求項2記載の表面被覆切削工具(1)。
- [5] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の $20\sim 90\%$ の値を有することを特徴とする、請求項2記載の表面被覆切削工具(1)。
- [6] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の $40\sim 80\%$ の値を有することを特徴とする、請求項5記載の表面被覆切削工具(1)。
- [7] 前記圧縮応力は、前記被膜の表面(4)において最大の圧縮応力を有するとともに、その最大の圧縮応力が前記被膜の表面(4)から前記第1の中間点(5)の方向に向かって一定の距離の間維持された後、前記圧縮応力が前記第1の中間点(5)まで連

- 続的に減少することを特徴とする、請求項2記載の表面被覆切削工具(1)。
- [8] 前記強度分布は、前記第1の中間点(5)から前記被膜の底面(6)まで前記圧縮応力が連続的に増加することを特徴とする、請求項1記載の表面被覆切削工具(1)。
- [9] 前記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力であることを特徴とする、請求項8記載の表面被覆切削工具(1)。
- [10] 前記第1の中間点(5)は、前記被膜の表面(4)から、前記被膜(3)の厚みの $0.1\%$ 以上 $50\%$ 以下の距離を有して位置することを特徴とする、請求項8記載の表面被覆切削工具(1)。
- [11] 前記圧縮応力は、前記被膜の表面(4)において最大となることを特徴とする、請求項8記載の表面被覆切削工具(1)。
- [12] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の $20\sim 90\%$ の値を有することを特徴とする、請求項8記載の表面被覆切削工具(1)。
- [13] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の $40\sim 80\%$ の値を有することを特徴とする、請求項12記載の表面被覆切削工具(1)。
- [14] 前記圧縮応力は、前記被膜の表面(4)の圧縮応力が前記被膜の表面(4)から前記第1の中間点(5)の方向に向かって一定の距離の間維持された後、前記第1の中間点(5)まで連続的に減少することを特徴とする、請求項8記載の表面被覆切削工具(1)。
- [15] 前記強度分布は、前記第1の中間点(5)から、前記第1の中間点(5)と前記被膜の底面(6)との間に位置する第2の中間点(9)まで前記圧縮応力が連続的に増加し、前記第2の中間点(9)において極大点を有することを特徴とする、請求項1記載の表面被覆切削工具(1)。
- [16] 前記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力であることを特徴とする、請求項15記載の表面被覆切削工具(1)。
- [17] 前記第1の中間点(5)は、前記被膜の表面(4)から、前記被膜(3)の厚みの $0.1\%$ 以上 $50\%$ 以下の距離を有して位置することを特徴とする、請求項15記載の表面被

覆切削工具(1)。

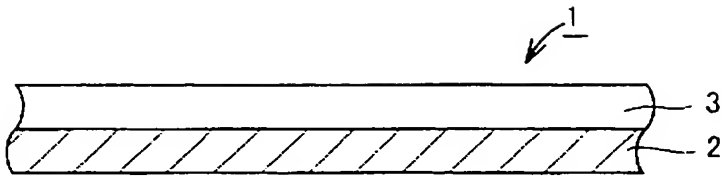
- [18] 前記第2の中間点(9)は、前記被膜の表面(4)から、前記被膜(3)の厚みの0.2%以上95%以下の距離を有して位置することを特徴とする、請求項15記載の表面被覆切削工具(1)。
- [19] 前記圧縮応力は、前記被膜の表面(4)において最大となることを特徴とする、請求項15記載の表面被覆切削工具(1)。
- [20] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の20～90%の値を有することを特徴とする、請求項15記載の表面被覆切削工具(1)。
- [21] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の40～80%の値を有することを特徴とする、請求項20記載の表面被覆切削工具(1)。
- [22] 前記圧縮応力は、前記被膜の表面(4)の圧縮応力が前記被膜の表面(4)から前記第1の中間点(5)の方向に向かって一定の距離の間維持された後、前記第1の中間点(5)まで連続的に減少することを特徴とする、請求項15記載の表面被覆切削工具(1)。
- [23] 前記強度分布は、前記第1の中間点(5)から、前記第1の中間点(5)と前記被膜の底面(6)との間に位置する第2の中間点(9)まで前記圧縮応力が連続的に増加し、前記第2の中間点(9)において極大点を有し、さらに前記第2の中間点(9)と前記被膜の底面(6)との間に前記同様の極小点を1以上有することを特徴とする、請求項1記載の表面被覆切削工具(1)。
- [24] 前記強度分布は、さらに前記第2の中間点(9)と前記被膜の底面(6)との間に前記同様の極大点を1以上有することを特徴とする、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。
- [25] 前記強度分布は、さらに前記第2の中間点(9)と前記被膜の底面(6)との間において前記同様の極小点と極大点とをそれぞれ1以上この順で交互に繰り返して有することを特徴とする、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。
- [26] 前記圧縮応力は、 $-15\text{GPa}$ 以上 $0\text{GPa}$ 以下の範囲の応力であることを特徴とする

、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。

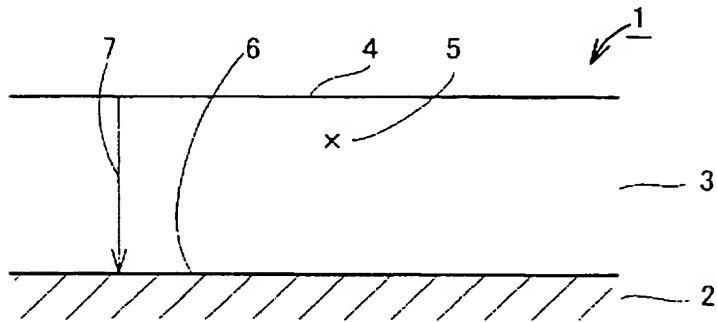
- [27] 前記第1の中間点(5)は、前記被膜の表面(4)から、前記被膜(3)の厚みの0.1%以上40%以下の距離を有して位置することを特徴とする、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。
- [28] 前記第2の中間点(9)は、前記被膜の表面(4)から、前記被膜(3)の厚みの0.2%以上80%以下の距離を有して位置することを特徴とする、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。
- [29] 前記圧縮応力は、前記被膜の表面(4)において最大となることを特徴とする、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。
- [30] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の10～80%の値を有することを特徴とする、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。
- [31] 前記圧縮応力は、前記第1の中間点(5)において前記被膜の表面(4)の圧縮応力の20～60%の値を有することを特徴とする、請求項30記載の表面被覆切削工具(1)。
- [32] 前記圧縮応力は、前記被膜の表面(4)の圧縮応力が前記被膜の表面(4)から前記第1の中間点(5)の方向に向かって一定の距離の間維持された後、前記第1の中間点(5)まで連続的に減少することを特徴とする、請求項23記載の表面被覆切削工具(1)。



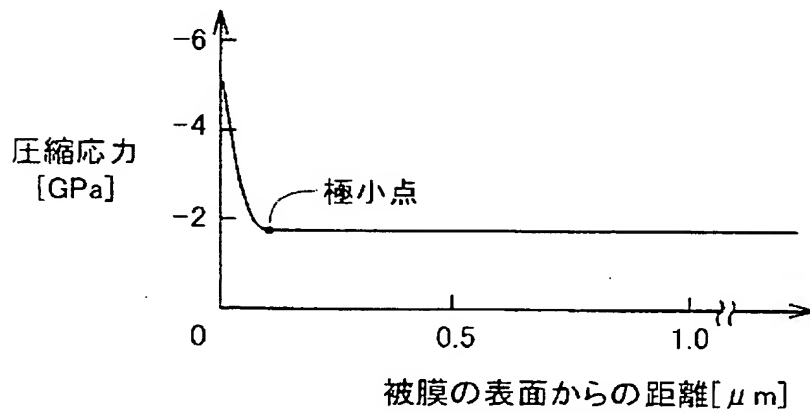
[図1]



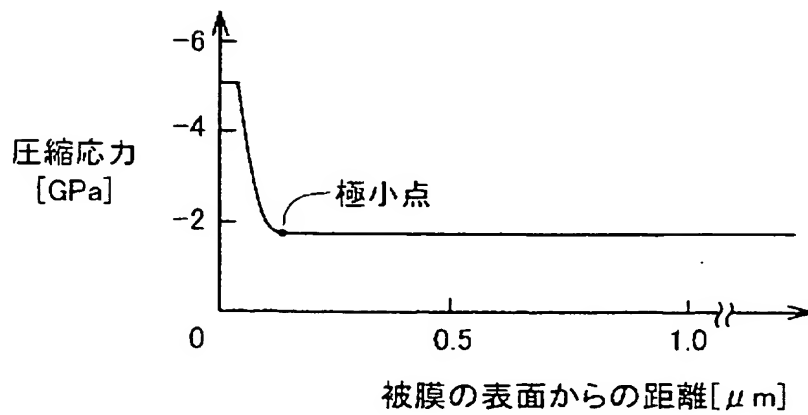
[図2]



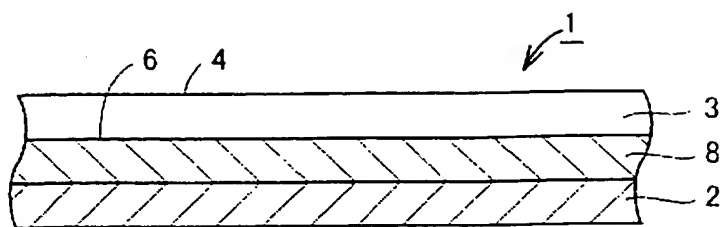
[図3]



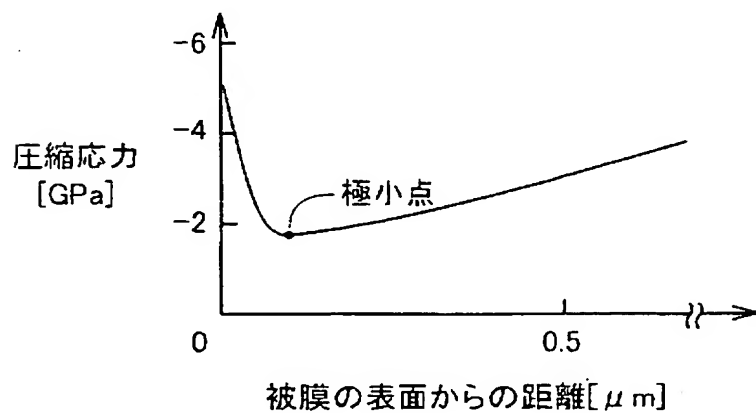
[図4]



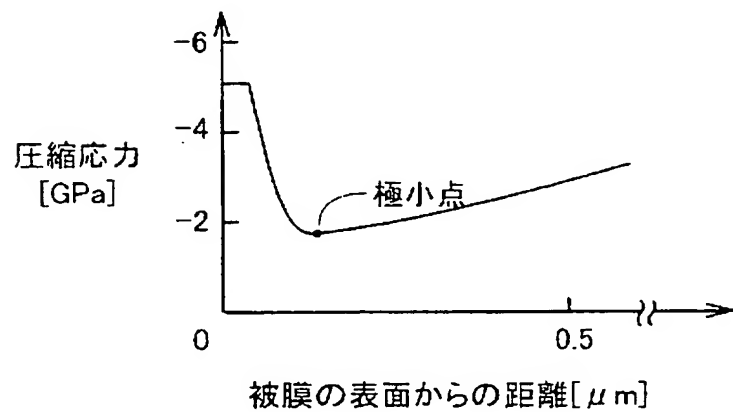
[図5]



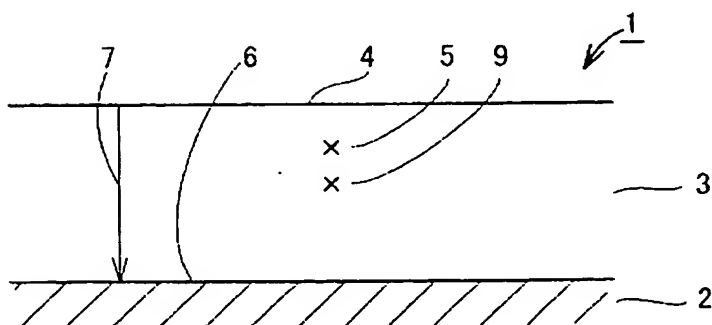
[図6]



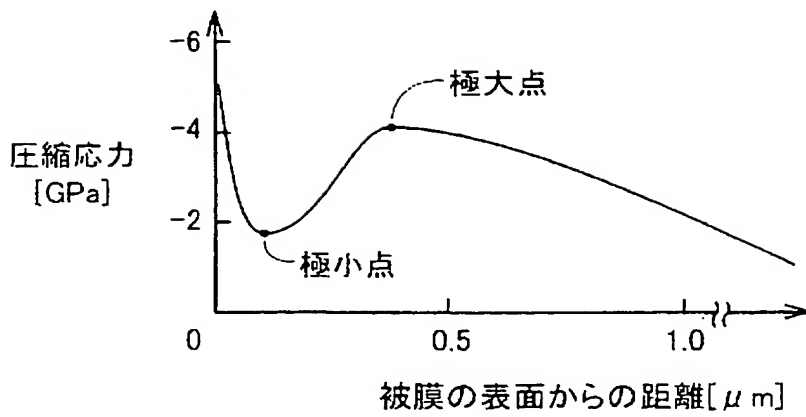
[図7]



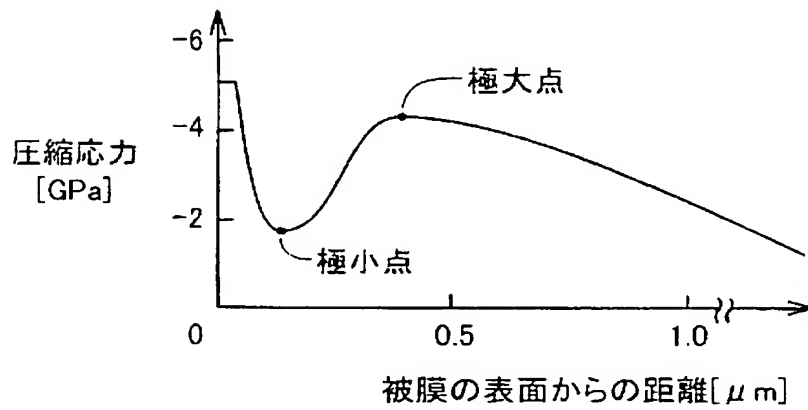
[図8]



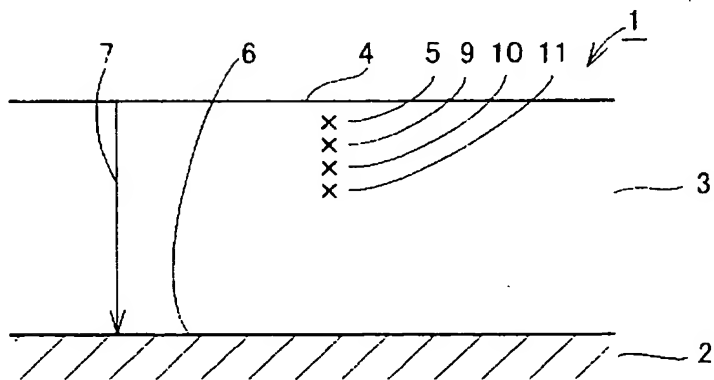
[図9]



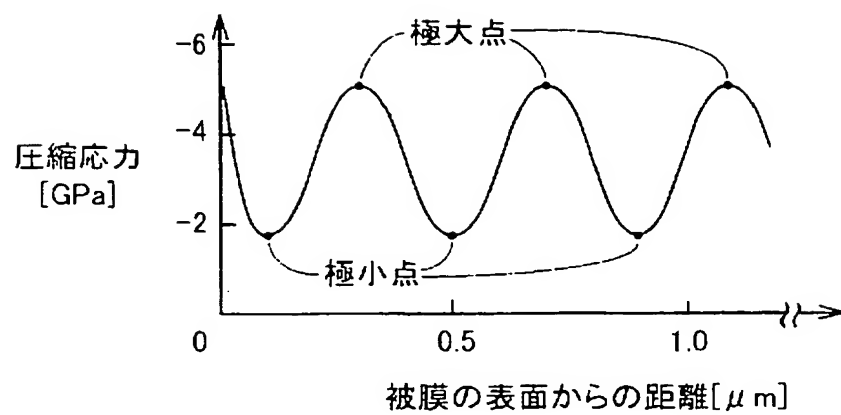
[図10]



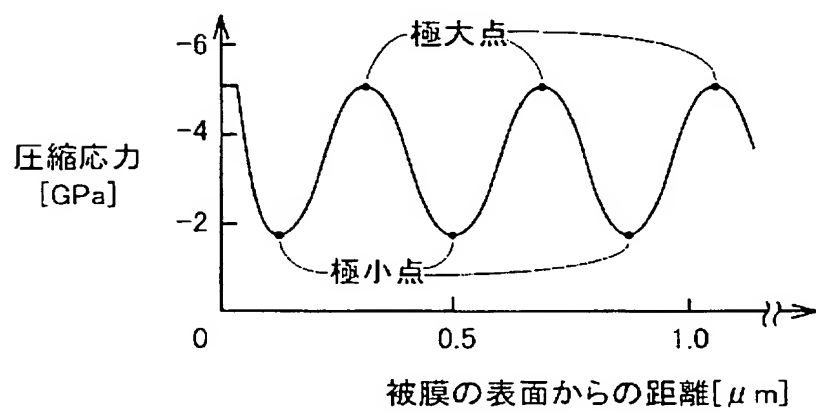
[図11]



[図12]



[図13]



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/012205

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl.<sup>7</sup> B23B27/14, 51/00, B23C5/16, C23C14/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>7</sup> B23B27/14, B23B51/00, B23C5/16, C23C14/00-14/58,  
C23C16/00-16/56

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2003-113463 A (Toshiba Tungaloy Co., Ltd.), 18 April, 2003 (18.04.03), Par. Nos. [0009], [0010]; all drawings (Family: none)	1-32
A	JP 2001-353603 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 25 December, 2001 (25.12.01), Claims 3 to 6; all drawings (Family: none)	1-32

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance: the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
05 September, 2005 (05.09.05)Date of mailing of the international search report  
27 September, 2005 (27.09.05)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> B23B27/14, 51/00, B23C5/16, C23C14/06

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.<sup>7</sup> B23B27/14, B23B51/00, B23C5/16, C23C14/00-14/58, C23C16/00-16/56

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

## 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2003-113463 A (東芝タンガロイ株式会社) 2003.04.18, 段落 【0009】、【0010】、全図 (ファミリーなし)	1-32
A	JP 2001-353603 A (住友電気工業株式会社) 2001.12.25, 請求項 3-6, 全図 (ファミリーなし)	1-32

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

05.09.2005

国際調査報告の発送日

27.9.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

田村 嘉章

電話番号 03-3581-1101 内線 3324

3C

3215